



(19) **RU** (11) **2 182 036** (13) **C2**
(51) МПК⁷ **B 01 D 53/22**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 98108324/12, 28.04.1998

(24) Дата начала действия патента: 28.04.1998

(30) Приоритет: 29.04.1997 US 08/848,199

(43) Дата публикации заявки: 10.03.2000

(46) Дата публикации: 10.05.2002

(56) Ссылки: US 5547494 A1, 20.08.1996. SU 1637850 A1, 30.03.1991. SU 858547 A1, 23.08.1981. SU 1503123 A1, 10.07.1996. EP 0099187 A1, 25.01.1984. EP 0461852 A2, 18.12.1991.

(98) Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(71) Заявитель:
ПРАКСАЙР ТЕКНОЛОДЖИ, ИНК. (US)

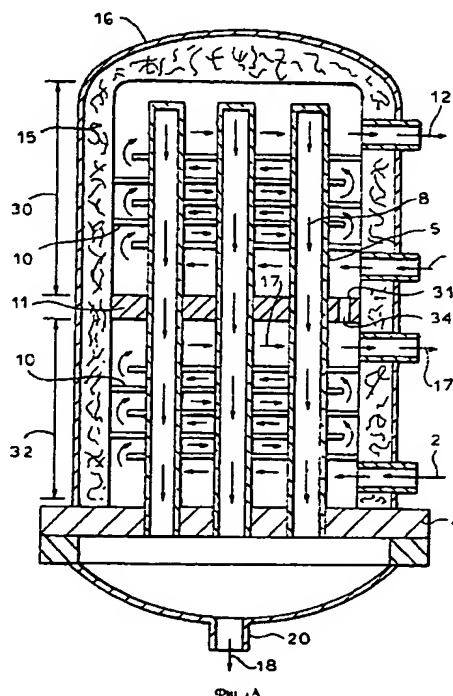
(72) Изобретатель: ГОТТЗМАНН Кристиан Фридрих
(US),
ПРАСАД Рави (US)

(73) Патентообладатель:
ПРАКСАЙР ТЕКНОЛОДЖИ, ИНК. (US)

(74) Патентный поверенный:
Кузнецов Юрий Дмитриевич

(54) СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА НА ОБОГАЩЕННЫЙ КИСЛОРОДОМ ГАЗОВЫЙ ПОТОК И ОБЕДНЕННЫЙ КИСЛОРОДОМ ГАЗОВЫЙ ПОТОК (ВАРИАНТЫ)

(57)
Изобретение относится к способу разделения газов в устройстве с ионным проводником из твердого электролита. Способ разделения кислородного газового потока на обогащенный кислородом газовый поток и обедненный кислородом газовый поток посредством выделения кислорода из подаваемого газового потока в устройстве включает сжатие подаваемого газового потока, разделение сжатого потока на основную и вспомогательную части, нагрев основной части газового потока с введением в секцию разделения устройства, подачу вспомогательной части газового потока в секцию охлаждения устройства рядом с выходом для кислородного продукта, отвод кислорода из нагретой основной части через мембраны в секции разделения устройства, передачу тепла от обогащенного кислородом газового потока вспомогательной части газового потока. 2 с. и 8 з.п. ф-лы, 9 ил., 1 табл.



RU 2 182 036 C2

RU 2 182 036 C2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 182 036** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **B 01 D 53/22**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

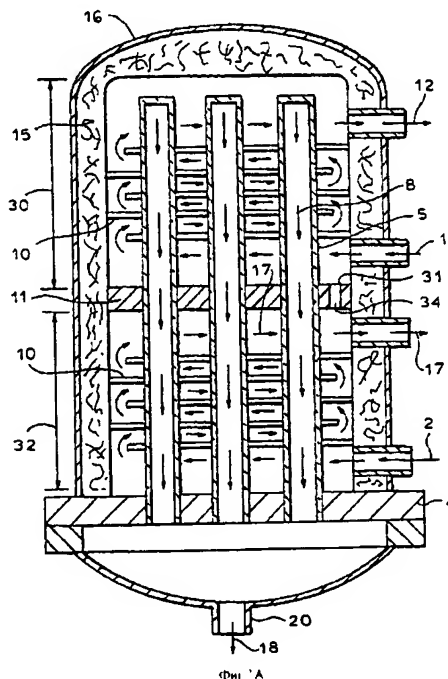
(21), (22) Application: 98108324/12, 28.04.1998
 (24) Effective date for property rights: 28.04.1998
 (30) Priority: 29.04.1997 US 08/848,199
 (43) Application published: 10.03.2000
 (46) Date of publication: 10.05.2002
 (98) Mail address:
 129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
 OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
 Partnery", Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(71) Applicant:
PRAKSAJR TEKNOLODZHI, INK. (US)
 (72) Inventor: **GOTTSMANN Kristian Fridrikh (US),
 PRASAD Ravi (US)**
 (73) Proprietor:
PRAKSAJR TEKNOLODZHI, INK. (US)
 (74) Representative:
Kuznetsov Jurij Dmitrievich

(54) **METHOD OF SEPARATION OF OXYGEN GAS FLOW INTO GAS FLOW ENRICHED IN OXYGEN AND GAS FLOW DEPLETED IN OXYGEN (Versions)**

(57) Abstract:

FIELD: method of separation of gases in device with ionic conductor from solid electrode. SUBSTANCE: method of separation of oxygen gas flow into gas flow enriched in oxygen and gas flow depleted in oxygen by separation of oxygen from supplied gas flow in device includes compression of supplied gas flow, separation of compressed flow into main and auxiliary parts, heating of main part of gas flow with introduction of device into separation section, supply of auxiliary part of gas flow to device cooling section near the outlet of oxygen product, withdrawal of oxygen from heated main part through membranes to sections of device separation, transfer of heat from gas flow enriched in oxygen of auxiliary part of gas flow. EFFECT: higher efficiency. 10 cl, 10 dwg, 1 tbl



RU 2 182 036 C2

RU 2 182 036 C2

Изобретение относится к способу разделения газов в устройстве с ионным проводником из твердого электролита. В частности, изобретение относится к системе разделения с ионным проводником из твердого электролита, где функции разделения газов, возможно реакции и охлаждения, объединены в одном устройстве.

Изобретение выполнено при поддержке Правительства Соединенных Штатов Америки по совместному соглашению 70NANB5H1065, выданному Национальным институтом стандартов и технологии. Правительство Соединенных Штатов Америки имеет определенные права на изобретение.

Некриогенные системы выделения объемного кислорода, например мембранные системы из органического полимера, используются для выделения определенных газов из воздуха и других газовых смесей. Воздух представляет собой смесь газов, которая может содержать в переменных количествах водяной пар и над уровнем моря имеет следующий примерный состав по объему: кислород (20,9%), водород (78%), аргон (0,94%) с балансом, состоящим из других рассеянных газов. Однако можно изготавливать мембраны совершенно другого типа из некоторых неорганических оксидов. Эти мембраны из твердого электролита изготавливают из неорганических оксидов, типичными примерами которых могут быть стабилизированные кальцием или иттрием оксиды циркония или аналогичные оксиды, имеющие структуру флюрита или перовскита.

Хотя потенциал этих оксидных керамических материалов в качестве мембран для разделения газов является высоким, при их использовании возникают определенные проблемы. Наиболее очевидная трудность состоит в том, что все известные оксидные керамические материалы обладают заметной проводимостью ионов кислорода только при повышенных температурах. Они обычно должны хорошо работать при температурах выше 500°C, как правило, в диапазоне температур 600-900°C. Это ограничение остается, несмотря на серьезные исследования с целью подбора материалов, которые хорошо работают при более низких температурах. Техника ионных проводников из жесткого электролита более подробно описана в патенте США 5547494, под названием "Ступенчатая электролитная мембрана", который включен в настоящую заявку путем ссылки для более полного описания состояния техники.

Последние разработки привели к созданию твердых оксидов, которые имеют возможность проводить ионы кислорода при повышенных температурах, когда прикладывается химический или электрический расщепляющий потенциал. Эти приводимые в действие давлением мембраны в виде ионных проводников можно использовать в качестве мембран для отделения кислорода из кислородсодержащего газового потока, если для обеспечения химического расщепляющего потенциала прикладывается достаточное парциальное давление кислорода. Поскольку селективность этих материалов в отношении кислорода является неограниченной и можно получать величину

потоков кислорода на несколько порядков выше, чем при применении полимерных мембран, для способов получения кислорода, а также для требующих кислород процессов окисления создаются благоприятные возможности их применения, в особенности при повышенных температурах. Бросающийся в глаза пример представляет собой циклы газовых турбин, которые обычно обрабатывают значительное количество избыточного воздуха для поддержания температуры на входе турбины в пределах возможностей, имеющих материалы и, следовательно, обеспечивают наличие избыточного кислорода для восстановления в виде побочного продукта.

В технической литературе представлены успехи, достигнутые в технике разделения воздуха с использованием ионных проводников из твердого электролита. Например, патент США 5306411 под названием "Твердые многокомпонентные мембраны, электромеханические компоненты реактора, электромеханические реакторы и использование мембран, компонентов реакторов и реакторов для реакции окисления", касается электромеханических реакторов для реагирования кислородсодержащего газа с потребляющим кислород газом, в котором описывается корпусной и трубчатый реактор с кислородсодержащим газом, проходящим по одной стороне мембраны из твердого электролита и потребляющим кислород газом по другой стороне. Однако в этом источнике не рассматриваются вопросы, касающиеся управления теплом для поддержания поверхностей мембран при требующихся постоянных температурах, динамики потока для достижения эффективного переноса массы или необходимости балансирования динамики реакции проводимостью ионов кислорода с целью поддержания надлежащего парциального давления кислорода для обеспечения стойкости материалов.

Патент США 5565017 под названием "Высокотемпературное производство кислорода с выработыванием водяного пара и энергии", касается системы, объединяющей мембрану для переноса ионов с газовой турбиной для преобразователя энергии от остаточного газового потока после его нагрева и добавления водяного пара.

В патенте США 5516359 под названием "Объединенный высокотемпературный способ производства кислорода" раскрыто использование водяного пара и инертных газов в качестве газов очистки для мембранных разделителей. Ни в одном из этих патентов не раскрывается конструкция устройства, и они не предполагают использование реакторов переноса ионов, которые посредством исключения азота из газового потока продуктов реакции позволяют использовать их в качестве генераторов газового потока для продувки или очистки разделителей с переносом ионов.

В патенте США 5599383 описан трубчатый модуль с твердой мембраной, имеющий множество трубчатых мембранных блоков, каждый из которых имеет пористую основу без каналов и удерживаемый на ней плотный смешанный проводящий окисный слой. Пористая основа каждого блока находится в

связи по потоку с одним или более коллекторами или трубопроводами для выпуска кислорода, который проникает через плотный слой и пористую основу.

В корпорации Вестингауз разработаны твердые окисные топливные элементы, имеющие трубчатую конструкцию, типа описанной в публикации, представленной на конференции "Паузджен 1955 - Эмерикес" в Анахайме, штат Калифорния, 5-7 декабря 1995 г. Франком П. Бвеком и Уолтером Г. Паркером, под названием "Объединенные энергетические установки с твердыми окисными топливными элементами Сьюрсел (товарный знак) для применений распределенных энергий". Эта публикация касается трубчатых топливных систем из твердых оксидов с конфигурациями, которые имеют поверхностное сходство с некоторыми из конфигураций настоящего изобретения, однако конфигурация не касается функций, выполняемых соответствующими настоящему изобретению реакторами на твердых электролитах. Бвек и Паркер описали топливный элемент с закрытым концом, где воздух подается к внутренней катодной стороне мембраны из твердого электролита по коаксиальной внутренней трубе, которая подает воздух, подогреваемый перед вводом в катодный канал, где происходит перенос кислорода. Однако Бвек и Паркер не рассматривали вопрос динамики управления теплом и потоком.

Кроме того, устройство корпорации Вестингауз в отличие от настоящего изобретения представляет собой не реактор для производства тепла или требуемого продукта анодной стороны, а топливный элемент для производства электрической энергии и, следовательно, не может использовать смешанные или двухфазные проводники в качестве электролита. Более того, конструкцию твердых топливных элементов корпорации Вестингауз (фиг.4) представляют также устройства низкого давления, тогда как соответствующие настоящему изобретению реакторы обычно имеют повышенное давление, по меньшей мере, на одной стороне мембраны из твердого электролита. Поскольку перепад давления между двумя сторонами невелик, вопрос уплотнения не является целью, хотя он занимает значительную часть настоящего изобретения. Конструкция топливного элемента корпорации Вестингауз отличается также концентрической внутренней трубой для подачи воздуха, однако без учета практических проблем конструкции устройства, встречающихся в отделителе кислорода переносом ионов.

Следовательно, целью настоящего изобретения является создать эффективный способ с использованием системы ионных проводников из твердого электролита, где функции разделения газов, возможно химической реакции, и охлаждения объединены в одном устройстве для доведения до максимума использования обычных материалов и обычных конструктивных способов.

Целью изобретения является также получение соответствующих изобретению систем переноса ионов на твердом электролите, способных объединяться в высокотемпературном цикле типа газовых

турбин

Следующей целью настоящего изобретения является обеспечить возможность использования продувочного потока для стороны отвода или анода разделителя с переносом ионов для повышения восстановления кислорода, не воздействуя на ранее упомянутые преимущества.

Еще одной целью изобретения является объединить секцию реакции с устройством, создающим поток, состоящий из продуктов реакции, в одном и том же трубчатом канале выше по потоку от секции разделения с целью продувки стороны отвода, то есть анодной стороны разделителя, для повышения восстановления кислорода, не оказывая влияния на ранее описанные преимущества, и благодаря этому объединить большинство операций блока, требуемых для разделения газа посредством мембраны для переноса ионов в одном устройстве, с целью значительного упрощения операций процесса.

Изобретение относится к способу разделения кислородного газового потока на обогащенный кислородом газовый поток в качестве проникающего потока и обедненный кислородом газовый поток в качестве остающегося потока посредством выделения кислорода из подаваемого газового потока, содержащего элементарный кислород и после этого охлаждения кислородного газового потока или полученного из него обогащенного кислородом газового потока, в одном разделительно-охлаждающем устройстве. Разделительно-охлаждающее устройство имеет секцию разделения и секцию охлаждения и выход кислородного продукта, в котором секция разделения включает в себя мембрану для переноса ионов, имеющую сторону подвода и сторону отвода. Способ содержит следующие операции: (а) сжатие подаваемого газового потока, (в) разделение сжатого газового подаваемого потока на основную часть газового потока и вспомогательную часть газового потока, (с) нагрев основной части газового потока, (d) введение нагретого основного газового потока в секцию разделения устройства, (е) введение второстепенной части газового потока в секцию охлаждения рядом с выходом кислородного продукта, (f) удаление кислорода из нагретой основной части газового потока через мембрану для переноса ионов секции разделения с целью получения горячего, обогащенного кислородом газового потока на стороне отвода мембраны и обедненного кислородом газового потока на стороне подвода мембраны и (g) передача тепла от обогащенного кислородом газового потока вспомогательной части газового потока, с целью получения кислородного газового потока или газового потока, обогащенного кислородом продукта, и нагретой вспомогательной части газового потока, в котором вспомогательная часть газового потока либо выходит из устройства, либо объединяется с нагретой основной частью газового потока перед вводом нагретой части основного газового потока в секцию разделения устройства и в котором обедненный кислородом газовый поток выходит из устройства.

В предпочтительном варианте

осуществления изобретения
разделительно-охлаждающее устройство
дополнительно содержит секцию реактора,
включающую в себя мембрану для переноса
ионов, имеющую сторону подвода и сторону
отвода для создания единого устройства
-"реактор-охладитель" или единого
устройства -

"реактор-разделитель-охладитель". В
устройстве реактор-разделитель-охладитель
химически активный газовый поток вводится
на стороне отвода мембраны для переноса
ионов в секции реактора устройства с целью
вступления в реакцию со вторым
кислородным газовым потоком, проникающим
через мембрану для переноса ионов рядом со
стороной отвода мембраны для переноса
ионов, для создания газового потока
продуктов реакции, который используется для
продувки стороны отвода мембраны для
переноса ионов в секции разделения
устройства, а газовый поток продуктов
реакции и первый поток кислородного газа и
любой не вступивший в реакцию кислород из
второго кислородного потока объединяются в
виде обогащенного кислородом газового
потока, который выходит из устройства, и в
котором обедненный кислородом газовый
поток отдельно выходит из устройства.
Мембрану для переноса ионов секции
разделения устройства и мембрану для
переноса ионов секции реактора можно
образовать совместно и более
предпочтительно, мембрана для переноса
ионов секции разделения устройства
включает в себя пористую поддерживающую
подложку и содержит материал переноса
ионов, имеющий высокую проводимость
кислорода при высоком парциальном
давлении кислорода, а мембрана для
переноса ионов секции реактора устройства
содержит слой смешанного проводника,
имеющий оптимальную стойкость при низком
парциальном давлении кислорода.

Мембрана для переноса ионов секции
реактора и мембрана для переноса ионов
секции разделения могут быть образованы
совместно с трубопроводом для переноса
обогащенного кислородом газового потока
через секцию охладителя устройства.

Трубопровод для переноса
обогащенного кислородом газового потока
через секцию охлаждения представляет
собой металлическую трубу и соединяется с
мембраной для переноса ионов секции
реактора устройства посредством сварки или
пайки твердым припоем.

Трубопровод для переноса обогащенного
кислородом газового потока через секцию
охлаждения устройства содержит плотный
уплотняющий материал и соединяется с
мембраной для переноса ионов секции
реактора устройства посредством сварки или
пайки твердым припоем.

Секция разделения может включать в себя
секцию реактора, а операция отвода
кислорода через мембрану включает в себя
введение химически активного газового
потока на стороне отвода от мембраны для
переноса ионов для вступления в реакцию, по
меньшей мере, с частью переносимого
кислорода.

Химически активный газ нагревают перед
его вводом в секцию реактора устройства.

Изобретение также относится к способу

получения обедненного кислородом газового
потока и газового потока продуктов
химической реакции в виде проникающего
потока посредством первого выделения
кислорода из подаваемого газового потока,
содержащего элементарный кислород, для
создания обедненного кислородом газового
потока и горячего газового потока продуктов
реакции, а после этого - охлаждения газового
потока продуктов реакции в едином
устройстве реактор-охладитель с целью
получения газового потока продуктов
химической реакции. Устройство
реактор-охладитель имеет секцию реактора и
секцию охлаждения и выход для продуктов
реакции, а секция реактора включает в себя
мембрану для переноса ионов, имеющую
сторону подвода и сторону отвода. Способ
содержит следующие операции: (а) сжатие
подаваемого газового потока, (b) разделение
сжатого газового потока на основную часть
газового потока и вспомогательную часть
газового потока, (с) введение основной части
газового потока в секцию реактора
устройства, (d) введение вспомогательной
части газового потока в секцию охлаждения
рядом с выходом для продуктов реакции, (e)
отвод кислорода из основной части газового
потока через мембрану для переноса ионов
секции реактора посредством введения
химически активного газового потока на
стороне отвода от мембраны для переноса
ионов в секции реактора устройства с целью
вступления в реакцию с кислородным
газовым потоком, проникающим через
мембрану для переноса ионов рядом со
стороной отвода от мембраны для переноса
ионов, с целью получения газового потока
продуктов реакции на стороне отвода от
мембраны для переноса ионов и обедненного
кислородом газового потока на стороне
подвода к мембране для переноса ионов, и (f)
передача тепла от горячего газового потока
продуктов химической реакции
вспомогательной части газового потока для
создания газового потока продуктов реакции и
нагретой вспомогательной части газового
потока, в котором вспомогательная часть
газового потока либо выводится из
устройства, либо объединяется с нагретой
основной частью газового потока перед
введением нагретой основной части газового
потока в секцию реактора устройства и в
котором обедненный кислородом газовый
поток также выходит из устройства.
Изобретение применимо к любой реакции
окисления или частичного окисления на
стороне отвода от мембраны для переноса
ионов. Примеры таких применений включают
камеры сгорания, устройства разложения,
процессы производства синтез-газа или
других окислительных процессов.

В предпочтительном варианте
осуществления изобретения основная часть
газового потока нагревается до
промежуточной температуры перед его
введением в секцию реактора устройства. В
другом предпочтительном варианте
осуществления изобретения газовый поток
продуктов химической реакции оказывается
по существу свободным от водорода. В
следующем варианте осуществления
изобретения мембрана для переноса ионов
секции реактора и трубопровод для
транспортирования газового потока продуктов

химической реакции через секцию охладителя устройства выполнены в виде единого целого.

Изобретение также относится к способу получения обогащенного кислородом газового потока и обедненного кислородом газового потока посредством выделения кислорода из подаваемого газового потока, содержащего элементарный кислород, в устройстве реактор-разделитель. Устройство реактор-разделитель имеет секцию разделения и секцию реактора, в котором секции разделения и реактора включают в себя, по меньшей мере, одну мембрану для переноса ионов, имеющую сторону подвода и сторону отвода. Способ содержит следующие операции: (a) сжатие подаваемого газового потока, (b) введение сжатого подаваемого газового потока в устройство и передача тепла от газового потока продуктов химической реакции, (c) удаление кислорода из нагретого подаваемого газового потока посредством мембраны для переноса ионов в секции реактора с целью создания газового потока химической реакции на стороне отвода от мембраны и обедненного кислородом газового потока на стороне подвода к мембране, и (d) удаление дополнительного кислорода из частично обедненного кислородом газового потока с помощью мембраны для переноса ионов в секции разделения для создания обедненного кислородом газового потока на стороне подвода к мембране. Химически активный газовый поток вводится на стороне отвода от мембраны для переноса ионов в секции реактора с целью вступления в реакцию с кислородом, проходящим через мембрану для переноса ионов рядом со стороной отвода от мембраны, для создания газового потока продуктов химической реакции, который используется для продувки со стороны отвода от мембраны для переноса ионов в секции разделения, а газовый поток продуктов химической реакции и не вступивший в реакцию передаваемый кислород объединяются в виде обогащенного кислородом газового потока, отводимого из устройства. Обедненный кислородом газовый поток предпочтительно отдельно отводится из устройства.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения мембрана для переноса ионов секции разделения устройства и мембрана для переноса ионов секции реактора устройства выполнены за одно целое. В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения мембрана для переноса ионов секции разделения устройства включает в себя пористую поддерживающую подложку и содержит материал для переноса ионов, имеющий высокую проводимость ионов кислорода при высоком парциальном давлении кислорода, а мембрана для переноса ионов секции реактора устройства содержит слой смешанного проводника, имеющий оптимальную стойкость при низком парциальном давлении кислорода. Еще в одном предпочтительном варианте осуществления изобретения химически активный газ нагревается перед его введением в секцию реактора устройства.

Используемый здесь термин "элементарный кислород" означает любой кислород, который не объединен ни с каким

другим элементом в периодической таблице элементов. Хотя кислород обычно находится в двухатомной форме, элементарный кислород включает одноатомный кислород, трехатомный озон и другие формы, не объединенные с другими химическими элементами.

Используемый здесь термин "реактор" означает разделитель, в котором переносимый кислород подвергается химической реакции и благодаря этому происходит потребление кислорода. Хотя термины "реактор" и "разделитель" используются здесь иногда для описания различных секций соответствующего настоящему изобретению устройства, термин "разделитель" используется здесь также при описании секции реактора и (или) разделителя.

Другие цели, особенности и преимущества изобретения станут очевидными специалистам в данной области техники из последующего описания предпочтительного варианта осуществления изобретения и прилагаемых чертежей, на которых:

на фиг. 1А представлен схематически вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию разделитель-охладитель с ионными проводниками из твердого электролита, отличающуюся трубой переноса ионов с закрытым и свободно плавающим концом;

фиг. 1В - схематически способ соединения трубы переноса ионов секции разделения с металлической трубой секции охлаждения посредством сварки, пайки твердым припоем или механическим соединением труб для осуществления уплотнения;

фиг. 2 - схематически другой вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию реактор-разделитель-охладитель с ионными проводниками из твердого электролита, отличающуюся переносом ионов через трубу со скользящим уплотнением;

фиг. 3 - схематически вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию разделитель-охладитель с ионным проводником из твердого электролита, отличающуюся трубой для переноса ионов с закрытым и свободно плавающим концом;

фиг. 4 - схематически другой вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию реактор-разделитель-охладитель с ионным проводником из твердого электролита, отличающуюся трубой для переноса ионов с закрытым и свободно плавающим концом;

фиг. 5 - схематически вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию реактор-охладитель с ионным проводником из твердого электролита, отличающуюся переносом ионов через трубу со скользящим уплотнением и имеющую возможность охлаждать выходящие из нее потоки со стороны подвода и стороны отвода мембраны;

фиг. 6 - схематически еще один вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию реактор-охладитель с ионным проводником из твердого электролита, отличающуюся трубой для переноса ионов с закрытым и свободно

плавающим концом;

фиг. 7 - схематически часть трубы для переноса ионов в поперечном разрезе, в которой мембрана для переноса ионов секции реактора, мембрана переноса ионов секции разделения и трубопровод секции охладителя устройства образованы за одно целое;

фиг. 8 - блок-схема, иллюстрирующая полный цикл разделения кислорода-водорода, используя соответствующий настоящему изобретению реактор-разделитель-охладитель;

фиг. 9 - блок-схема, иллюстрирующая соответствующий изобретению реактор-разделитель-охладитель, объединенные в цикл газовой турбины.

Некоторые из основных проблем, на которые направлено настоящее изобретение, включают снижение до минимального уровня сопротивление газобразной диффузии, устранение чрезмерных напряжений от теплового и композиционного расширения и сжатия и уплотнение элементов для переноса ионов в устройстве для переноса ионов. Последняя проблема усугубляется тем, что рабочая температура мембраны для переноса ионов лежит в диапазоне от 500 до 1100°C. Изобретение, в котором в предпочтительных вариантах осуществления использованы элементы для переноса ионов в форме труб, устраняет вышеупомянутые напряжения благодаря использованию труб, которые закрыты на концах и имеют свободно плавающие концы. Проблема уплотнения также облегчается по существу посредством сочетания функций разделения и (или) химической реакции переноса ионов с охлаждением кислорода в одном устройстве. Как описывается ниже, это предпочтительно позволяет поддерживать температуру соединения трубы с трубной решеткой в диапазоне от 180 до 300°C и позволяет использовать обычную технику, например сварку, пайку твердым припоем или механические средства, чтобы выполнить уплотнение. В предпочтительном способе часть подаваемого воздуха проходит мимо камеры сгорания или нагревателя и служит в качестве поглотителя тепла для охлаждения кислородного продукта или выходящего газового потока продуктов химической реакции. Диффузионное сопротивление при высоком давлении газа уменьшается посредством установки отражательной перегородки, которая обеспечивает высокие скорости поперечного течения или посредством каналов с малыми гидравлическими радиусами.

Другие функции типа косвенного нагрева третьего газового потока или разделения потока кислородной продукции посредством соответствующей мембраны из твердого электролита объединены для достижения оптимальной простоты, отвечая в то же время описанным в предыдущем разделе операционным требованиям.

Изобретение выполняет все подлежащие осуществлению и практическому применению функциональные требования к реакторам с твердыми электролитами и раскрывает способ целесообразного объединения функций реактора с другими операциями. В частности, изобретение вводит средство переноса тепла таким образом, что тепло, выделяемое при химической реакции,

отводится от элементов ионных проводников из твердого электролита, поддерживая тем самым довольно постоянную температуру элементов ионных проводников из твердого электролита. Это достигается посредством изменения локальных коэффициентов теплопередачи в необходимых пределах посредством выбора соответствующей конфигурации поверхности теплопередачи и соответственных локальных скоростей течения. В то же время эффективный перенос масс кислорода к катодной поверхности и реагирующего вещества к анодной поверхности мембраны обеспечивается либо высокой турбулентностью, либо узким размером каналов. Кроме того, уделяется внимание необходимости поддержания парциального давления кислорода на анодной поверхности или возле нее на достаточно высоком уровне в течение длительного срока службы конкретного смешанного или двухфазного проводника, используемого благодаря балансированию локальной динамики кислородного течения и реакции. Это достигается посредством выбора мембраны с надлежащей ионной проводимостью и толщиной, с одной стороны, и управления каталитической активностью материалом катализатора и (или) площадью поверхности, с другой стороны.

Как упоминалось выше, в настоящем изобретении используется множество основных подходов к уменьшению или устранению проблем, встречающихся в устройстве разделения с переносом ионов. Наибольшие преимущества, имеющиеся, по меньшей мере, в некоторых из различных вариантов осуществления изобретения, представленных на чертежах, являются следующие: (i) свободно плавающие и закрытые концы труб устраняют напряжения из-за разности теплового или композиционного расширения, (ii) введение охладителя в устройство разделителя с переносом ионов устраняет необходимость в отдельном и дорогостоящем охладителе высокотемпературного кислорода с дополнительными трубными решетками и оболочкой, (iii) объединение разделителя с охладителем в одном и том же устройстве позволяет сохранять умеренную температуру трубных решеток, допускающую приемлемо высокие напряжения конструкции при относительно недорогостоящих материалах и обычные соединения между трубами и трубными решетками, (iv) изолированные емкости позволяют осуществлять использование недорогостоящих материалов конструирования оболочки, (v) использование отражательных перегородок и высоких скоростей потока газа увеличивает перенос массы и тепла, (vi) использование части содержащего кислород подаваемого газа обеспечивает поглотитель тепла для охлаждения газового потока кислородного продукта и (vii) упрощаются оборудование и система труб.

Трубы ионных проводников из твердого электролита, используемые в соответствующих изобретению вариантах осуществления, обычно состоят из смешанного или двухфазного проводника из твердого оксида плотных стенок или смешанного либо двухфазного проводника из тонкопленочного твердого оксида,

поддерживаемого пористой подложкой. Материал ионного проводника из твердого электролита должен иметь достаточную способность проводить ионы и электроны кислорода в диапазоне температур от 500°C до 1100°C при преобладающих парциальных давлениях кислорода, когда на поверхности мембраны ионного проводника из твердого электролита поддерживается химическая разность потенциалов, создаваемая отношением парциальных давлений кислорода на мембране ионного проводника из твердого электролита. Подходящими материалами для ионных проводников из твердого электролита являются перовскиты и двухфазные сочетания окиси между металлами, перечисленные в таблице. Поскольку химически активная среда на анодной стороне мембраны ионного проводника из твердого электролита во многих применениях создает очень низкие парциальные давления кислорода, предпочтительными материалами могут быть приведенные в таблице, содержащие хром перовскиты, поскольку они стремятся быть стойкими в этой среде, то есть они химически не разлагаются при очень низких парциальных давлениях кислорода. В целях повышения химической активности и (или) получения большей площади поверхности для обмена на обеих сторонах мембраны ионного проводника из твердого электролита можно факультативно добавлять пористые слои катализатора для повышения химических реакций на этих поверхностях, когда это необходимо. Однако эти слои пористого катализатора могут иметь тот же материал перовскит из твердого электролита, который используется в трубах переноса ионов. В качестве альтернативы поверхностный слой мембраны ионного проводника из твердого электролита можно легировать, например кобальтом, с целью повышения динамики поверхностного обмена.

В конструкции важно также балансировать локальную динамику потока кислорода и химической реакции для обеспечения гарантии, что локальные парциальные давления кислорода находятся на уровне, обеспечивающем стойкость материала, то есть обычно выше 10^{-15} атмосферы для известных в настоящее время материалов. Поток кислорода имеет сложную функциональную зависимость от ионной проводимости материала, толщины стенок твердого электролита, динамики химической реакции, парциального давления топлива и химической активности катализатора, на которые могут оказывать влияние выбор катализатора и увеличенная площадь катализатора. Газовый поток на стороне химической реакции труб из твердого электролита может иметь противоположный или совпадающий ток. При некоторых обстоятельствах может оказаться важным направление газового потока, поскольку это оказывает влияние на окружающие среды локальной динамики химической реакции и парциального давления кислорода. Последний аспект оказывает влияние на кислородный поток, стойкость материала и композиционные напряжения.

Как правило, основная часть газового потока нагревается до промежуточной температуры перед ее введением в секцию

реактора устройства, что повышает эффективность процесса. Однако, если устройство включает в себя секцию реактора и требуется довести до максимума способность реактора вырабатывать тепло от химической реакции проникающего кислородного газового потока и химически активного газового потока, основная часть газового потока не нагревается перед ее введением в устройство.

На фиг. 1А показан схематически разделитель-охладитель для переноса ионов. Обычно подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и делится на две части, подлежащие передаче в устройство разделитель-охладитель. Хотя вспомогательная часть газового потока холодного подаваемого газового потока 2 подается непосредственно в устройство, основная часть газового потока обычно нагревается для создания горячего подаваемого газового потока 1 перед его использованием. Во время работы горячий подаваемый газовый поток 1 вводится в секцию 30 разделителя, а холодный подаваемый газовый поток 2 с температурой предпочтительно в диапазоне от 80 до 250°C подается в секцию 32 охлаждения. Поскольку давление газовых потоков по существу одинаковое в секции 30 разделителя и секции 32 охладителя устройства, для разделения двух секций необходима только отражательная перегородка 11. Отражательная перегородка 11 может быть не изолированной, но она может быть и изолированной. Трубы 5 разделителя-охладителя переноса ионов проходят по обеим секциям 30 и 32. Трубы 5 разделителя-охладителя для переноса ионов закрыты колпачками и их верхние концы свободно плавают в устройстве, как показано на чертеже, и уплотнены и прикреплены к трубной решетке 4 у основания устройства, как показано на чертеже. Поскольку температура трубной решетки 4 оказывается ниже 300°C, можно использовать такие стандартные способы соединения, например сварку, пайку твердым припоем или локальное расширение трубы (обкатка), кольца с круглым поперечным сечением или другие механические средства для выполнения соединения трубы 5 разделителя-охладителя для переноса ионов с трубной решеткой 4. Трубы 5 для переноса ионов должны иметь возможность свободно расширяться с учетом осевого удлинения вследствие теплового и композиционного расширения. Изоляция 15 изолирует элементы, сдерживающие давление стенки 16 устройства для обеспечения возможности использования стандартных материалов конструкции, например нержавеющей стали или углеродистой стали.

Трубу 5 можно использовать как в секции 30 разделения, так и в секции 32 охлаждения устройства. Из-за того, что материал, из которого изготовлены трубы 5 разделителя-охладителя для переноса ионов, проводит ионы кислорода при повышенной температуре, но по существу оказываются непроницаемыми при более низких температурах, он может действовать в качестве мембраны разделителя в секции 30 разделения и в качестве поверхности

переноса тепла в секции 32 охлаждения. Чтобы добиться требуемых высоких кислородных потоков, предпочтительными являются трубы 5 разделителя-охладителя, выполненные в виде тонкого плотного разделяющего слоя, поддерживаемого пористой подложкой. Плотный разделительный слой таких труб 5 разделителя-охладителя изготавливается из материала, имеющего высокую проводимость ионов кислорода при высоких парциальных давлениях кислорода. Как отмечалось выше, подходящими материалами являются представленные в таблице смешанные и двухфазные проводники. Предпочтительным материалом является материал $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$. Пористую подложку можно изготавливать из того же материала или она может состоять из одного или нескольких слоев других материалов, химически совместимых с соседними материалами при рабочих температурах. Возможными альтернативными материалами могут быть менее дорогостоящие оксиды, такие как двуокись циркония, оксид церия, оксид иттрия, оксид алюминия или такие материалы, как содержащие хром и никель суперсплавы. Трубы 5 разделителя-охладителя можно покрывать в случае необходимости пористым слоем катализатора и со стороны подвода и со стороны отвода секции переноса ионов для соответственного повышения диссоциации и рекомбинации кислорода. На анодной стороне (стороне отвода) каталитическую функцию лучше выполняет пористый слой, соседний или соприкасающийся с плотным разделяющим слоем.

Поскольку разделительная труба для переноса ионов, вероятно, имеет более высокую стоимость, чем труба охладителя, можно соответственно использовать металлическую трубу охладителя, которая соединяется с трубой разделителя для переноса ионов посредством сварки или пайки твердым припоем, соединением, расположенным в верхней части секции охладителя. Подробное изображение такого соединения представлено на фиг.1В. Показанные на фиг.1В трубы 5 разделителя-охладителя имеют три части: трубу 48 для переноса ионов, имеющую металлизированный конец, муфту 49 и трубу 50 охладителя. Концы трубы 48 для переноса ионов и трубы 50 охладителя припаивают твердым припоем или приваривают к муфте 49. Другой вариант состоит в использовании одной и той же трубы подложки для секции 30 разделения и секции 32 охлаждения, кроме замены недорогого плотного герметизирующего слоя слоем переноса ионов в части труб 5 разделителя-охладителя в секции 32 охлаждения. Это особенно целесообразно в том случае, если используется пористая металлическая подложка.

Возвращаясь к фиг. 1А, отметим, что горячий подаваемый газовый поток 1 проходит мимо внешней стороны поверхности труб 5 разделителя-охладителя, направленный отражательными перегородками 10. Кислород из горячего газового потока 1 проникает через трубу 5 разделителя-охладителя, обеспечивая горячий поток 8 кислородного газа во

внутренней части труб 5 разделителя-охладителя. Горячий подаваемый газовый поток 1, обедненный кислородом, становится обедненным кислородом газовым потоком 12 и выходит из секции 30 разделителя устройства. Когда холодный подаваемый газовый поток 2 проходит в данный момент поперек и навстречу горячему кислородному газовому потоку 8 внутри труб 5 разделителя-охладителя, направляемый отражательными перегородками 10, горячий кислородный газовый поток 8 проходит из секции 30 разделения по направлению к секции 32 охлаждения и благодаря этому охлаждается переносом тепла холодным подаваемым газовым потоком 2, становясь газокислородным потоком 18, который выходит из устройства через выпуск 20 продукта. Холодный подаваемый газовый поток 2 теперь с повышенной температурой выводится в виде горячего газового потока 17 и может добавляться к горячему подаваемому газовому потоку 1. В качестве альтернативы горячий газовый поток 17 может соединяться с горячим подаваемым газовым потоком 1 в устройстве, например, посредством трубопровода 34 через отражательную перегородку 11. Как и раньше, горячий подаваемый газовый поток 1, увеличенный горячим газовым потоком 17, проходит через секцию 30 разделения в направленном поперек встречном потоке горячему кислородному газовому потоку 8, в то время как кислород проникает через трубы 5 разделителя-охладителя.

На фиг. 2 представлен схематически другой вариант осуществления изобретения в виде основной конструкции реактора-разделителя-охладителя с ионным проводником из твердого электролита, включающей в себя перенос ионов через трубу со скользящим уплотнением 54. Как и на фиг.1А, подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и разделяется на две части, подлежащие подаче в устройство реактора-разделителя-охладителя. Во время работы подаваемый газовый поток 61 вводится в секцию 51 реактора, а холодный подаваемый газовый поток 62 подается в секцию 53 охладителя. Труба 55 реактора-разделителя-охладителя переноса ионов проходит по всем секциям 51, 52 и 53. Труба 55 реактора-разделителя-охладителя переноса ионов прикреплена к трубной решетке 64 на верхнем конце устройства посредством скользящего уплотнения 54 или неподвижного уплотнения с сильфоном и прикреплена к трубной решетке 65 и уплотнена у основания устройства. Поскольку трубная решетка 65 имеет температуру ниже 300°C , можно использовать стандартные способы соединения, такие как сварка, пайка твердым припоем или локальное расширение трубы (накатка), кольца с круглым поперечным сечением или другие механические средства, для выполнения соединения трубы 55 реактора-разделителя-охладителя с переносом ионов с трубной решеткой 65. Однако трубные решетки 64 и 65 имеют более высокую температуру и обычно для них используются различные способы выполнения уплотнения. Хотя на чертеже не

показано, изоляция изолирует конструкционные сдерживающие давление стенки 70 устройства, чтобы обеспечить возможность использования стандартных материалов, например нержавеющей сталь или углеродистую сталь.

Трубу 55 можно использовать в секции 51 реактора, секции 52 разделения и секции 53 охлаждения устройства. Как упоминалось в отношении фиг.1А и 1В, труба разделителя с переносом ионов и химической реакцией, вероятно, оказывается более дорогостоящей, чем труба охладителя и для охладителя можно соответственно использовать металлическую трубу, которую соединяют с трубой разделителя с переносом ионов и трубой реактора с переносом ионов посредством сварки или пайки твердым припоем при расположении соединения в верхней части секции охлаждения. В качестве альтернативы можно использовать одну составную трубу, которая имеет различный состав в каждой из различных секций 51, 52 и 53, оптимизированный для конкретной подлежащей выполнению функции в каждой секции. На фиг.7 показан поперечный разрез такой составной трубы. В этих составных трубах пористая подложка 251 поддерживает тонкий плотный разделяющий слой. Труба секции реактора покрыта слоем 252 смешанного проводника, имеющим оптимальную стойкость при низком парциальном давлении кислорода, секция разделения покрыта материалом 253, имеющим высокую проводимость при высоких парциальных давлениях кислорода, а секция охлаждения - недорогим уплотняющим слоем 254. Как и в случае фиг.1В, трубу секции охлаждения можно также изготавливать из другого материала (например, металла) и соединять с составной трубой переноса ионов, которая содержит секции реактора и разделения. Следовательно, в секции 51 реактора, секции 52 разделения и секции 53 охлаждения устройства можно использовать одну составную трубу.

Возвращаясь к фиг.2, отметим, что подаваемый газовый поток 61 проходит мимо наружной поверхности трубы 56 кожуха, направляемый отражательными перегородками 60, нагревается переносом тепла трубой 56 кожуха и проходит в концентрический кольцеобразный канал 68, образованный между наружной поверхностью трубы 55 реактора-разделителя-охладителя и внутренней поверхностью трубы 56 кожуха. Труба 56 кожуха проходит за пределы секции 51 реактора через секцию 52 разделителя устройства. Химически активный газовый поток 72, например метан, необязательно разбавленный водяным паром, проходит вниз по трубе 55 реактора-разделителя-охладителя и вступает в реакцию с кислородом, проникающим из подаваемого газового потока 61 через трубу 55 реактора-разделителя-охладителя, с целью обеспечения газового потока 73 продуктов реакции во внутренней части трубы 55. Когда химически активный газовый поток 72 состоит из метана или другого углеводорода, то в случае наличия избытка топлива или кислорода газовый поток 73 продуктов реакции представляет собой, главным образом, двуокись углерода и воду,

нормальные продукты сгорания и не вступившее в реакцию топливо, если процесс проходит при обедненном топливе. Когда реакционно-способные условия неблагоприятны для материала переноса ионов в секции 52 разделителя, избытка топлива в этой секции предпочтительно нет.

Тепло, вырабатываемое при реакции химически активного газового потока 72 с проникающим кислородом, передается из секции 51 реактора трубы 55 реактора-разделителя-охладителя трубе 56 кожуха посредством процессов конвекции и излучения, а отсюда подаваемому газовому потоку 61, проходящему по внешней стороне трубы 56 кожуха. Коэффициенты локальной теплопередачи регулируют посредством переменного разнесения или изолирования отражательных перегородок с целью создания умеренно равномерной температуры трубы 55 реактора-разделителя-охладителя. В то же время, холодный подаваемый газовый поток 62, направляемый отражательными перегородками 60, проходит в секцию 53 охлаждения устройства, охлаждает газовый поток во внутренней части трубы 55 реактора-разделителя-охладителя и получаемый газовый поток теперь с повышенной температурой проходит в концентрический кольцеобразный канал 68 вместе с подаваемым газовым потоком 61. Газовый поток 73 продуктов химической реакции проходит в секцию 52 разделителя устройства и продувает секцию 52 разделителя трубы 55 реактора-разделителя-охладителя с целью повышения химического раскачивающего потенциала на мембране, так что кислород проникает через трубу 55 с целью обеспечения газового потока 74, обогащенного кислородом продукта, который охлаждается течением холодного подаваемого газового потока 62 и который содержит кислород, а также продукты химической реакции, создаваемые в секции 51 реактора устройства. Газовый поток 74 обогащенных кислородом продуктов выходит из устройства через выход 76 для продукта. Можно также восстанавливать газовый поток 78 обедненных кислородом продуктов при высоком давлении.

Показанный на фиг.2 вариант осуществления изобретения иллюстрирует возможное использование продувочного газового потока, типа водяного пара или продуктов химической реакции из реактора переноса ионов (двуокись углерода и вода), с целью продувки анода мембраны переноса ионов и благодаря этому уменьшения парциального давления кислорода на аноде и увеличения движущей силы для разделения кислорода, приводя к меньшей площади разделителя и (или) восстановлению большего количества содержащегося в подаваемом газе кислорода. На фиг. 2 и 3 показаны модификации основного устройства разделителя-охладителя, которое позволяет использовать такой продувочный газ, сохраняя в то же время все ранее рассмотренные преимущества в отношении разделителя-охладителя. Показанный на фиг.3 описанный выше вариант осуществления изобретения отличается от показанного на фиг.2 варианта тем, что

показанный на фиг.2 вариант вырабатывает продувочный газ в секции реактора в устройстве, в то время как продувочный газ, используемый в показанном на фиг.3 варианте, можно вырабатывать в другом месте или получать от внешнего источника.

На фиг. 3 представлен схематический чертеж варианта осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию разделителя-охладителя с ионным проводником из твердого электролита, отличающуюся трубой со свободно плавающим закрытым концом и внутренней трубой подачи продувки для топлива или вырабатываемого с внешней стороны продувочного газового потока. Как и на фиг.1А, подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и делится на две части, подлежащие подаче в устройство реактора-разделителя-охладителя. Во время работы горячий подаваемый газовый поток 91 вводится в секцию 100 реактора, а холодный подаваемый газовый поток 92 подается в секцию 101 охладителя. Трубы 95 разделителя-охладителя для переноса ионов пересекают секцию 100 разделителя и секцию 101 охладителя устройства. Трубы 95 разделителя-охладителя для переноса ионов закрыты колпачками и свободно плавают в верхнем конце устройства, как показано на чертеже, и прикреплены к трубной решетке 94 у основания устройства. Как и раньше, поскольку температура трубной решетки 94 ниже 300°C, можно использовать стандартные способы соединения для выполнения соединения трубы 95 разделителя-охладителя с трубной решеткой 94. Таким же образом, изоляция 105 изолирует конструктивные сдерживающие давление стенки 106 устройства, чтобы обеспечить возможность использования стандартных материалов. Как и в случае фиг.1А, одну и ту же трубу 95 можно использовать в секции 100 разделителя и секции 101 охладителя устройства и можно конструировать, как описано выше.

Горячий подаваемый газовый поток 91 проходит мимо наружной поверхности труб 95 разделителя-охладителя, направляемый отражательными перегородками 120. В то же самое время продувочный газовый поток 108 проходит в устройство и направляется трубами 110 для осуществления продувки, прикрепленными к трубной решетке 96. Продувочный газовый поток 108 имеет по существу такую же температуру (100-300°C), как и холодный воздушный поток 92 при его поступлении в устройство, и нагревается переносом тепла горячим газовым потоком продукта в кольцеобразном канале 112. Продувочный газовый поток 108 проходит в концентрические кольцеобразные каналы 112, образованные между внутренней поверхностью труб 95 разделителя-охладителя и наружной поверхностью труб 110 подачи продувки. Трубы 110 для осуществления продувки проходят почти по всей длине труб 95 разделителя-охладителя. Продувочный газовый поток 108 очищает сторону проникновения труб 95 разделителя-охладителя и повышает выделение кислорода из горячего подаваемого газового потока 91, когда он

проходит мимо наружной поверхности труб 95 разделителя-охладителя и выходит из устройства в виде обедненного кислородом газового потока 114,

который может восстанавливаться в виде продукта. В то же время, холодный подаваемый газовый поток 92, направляемый отражательными перегородками 120, проходит в секцию 101 охлаждения устройства, охлаждает смешанный газовый поток во внутренней части трубы 95 разделителя-охладителя и получающийся газовый поток, теперь с более высокой температурой, выходит из устройства в виде нагретого газового потока 116. Нагретый газовый поток 116 можно добавить к подаваемому газовому потоку 91 до его входа в устройство или, хотя и не показано, можно добавлять к подаваемому газовому потоку 91 после его входа. Продувочный газовый поток 108, теперь смешанный с проникающим кислородом и охлажденный течением холодного подаваемого газового потока 92, выходит из устройства в виде газового потока 118 продукта через выход 119 для продукта.

Легко можно видеть, что здесь имеются все преимущества показанного на фиг.1А варианта осуществления, поскольку концы всех труб свободно плавают, и расположение течения охлаждающего газового потока остается неизменным. Желательно иметь ввод продувочного газового потока с достаточно низкой температурой для облегчения уплотнения в месте соединения трубы с трубной решеткой и нагрева продувочного газового потока до рабочей температуры мембраны для переноса ионов благодаря расположению в виде встречного потока относительно выходящей смеси получаемого кислорода и продувочного газа.

На фиг.4 представлен схематический чертеж другого варианта осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию

реактора-разделителя-охладителя с ионным проводником из твердого электролита. Как и на фиг.1А, подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и делится на две части, подлежащие подаче в устройство реактора-разделителя-охладителя. В устройстве используются три вида концентрических труб: трубы 149 кожуха, подсоединенные к верхней трубной решетке 150 и открытые у основания секции 131 разделителя, трубы 145 реактора-разделителя-охладителя для переноса ионов, закрытые в верхней части и прикрепленные к средней трубной решетке 144 и внутренние трубы 154 подачи, открытые в верхней части и прикрепленные к нижней трубной решетке 155. Изоляция 165 изолирует конструктивные сдерживающие давление стенки 166 устройства для обеспечения возможности использования стандартных материалов конструирования. Температура трубных решеток 144 и 155 оказывается ниже 300 °C и можно использовать стандартные способы соединения для выполнения всех соединений труб с трубными решетками. Температура трубной решетки 150 выше, но здесь уплотнение оказывается менее критичным, чем другие соединения, потому что на уплотнении имеется лишь небольшой

перепад давления. Труба 145 реактора-разделителя-охладителя переноса ионов пересекает секцию 130 реактора, секцию 131 разделителя и охладителя 132 устройства. Секции 130, 131 и 132 фактически работают как отдельные каскады благодаря выполнению различных функций при различных рабочих условиях. Для показанного на фиг.4 варианта можно использовать модификации, аналогичные трубе 145 реактора-разделителя-охладителя, которые упоминались в представленном на фиг. 2 варианте осуществления. Секция 132 охлаждения отделена от секции 131 разделителя отражательной перегородкой 158 с проточными отверстиями 157.

Во время работы подаваемый газовый поток 135 вводится в секцию 130 реактора, а холодный подаваемый газовый поток 142 подается в секцию 132 охладителя. Химически активный газовый поток 160 с разбавителем или без него подается по внутренним трубам 154 подачи. Подаваемый газовый поток 135 проходит мимо внешней поверхности трубы 149 кожуха, направляемый отражательными перегородками 168, и нагревается переносом тепла от трубы 149 кожуха и проходит в концентрический кольцеобразный канал 164, образованный между наружной поверхностью трубы 145 реактора-разделителя-охладителя и внутренней поверхностью трубы 149 кожуха.

Первая часть труб 145 реактора-разделителя-охладителя необязательно должна работать с химически пассивным продувочным газовым потоком, фактически создавая трехкаскадный разделитель, где химическая пассивность продуваемой секции предшествует химически активной продуваемой секции, за которой следует вторая химически пассивная продуваемая секция. Этот вариант показан в центральных трубах 145 реактора-разделителя-охладителя устройства и выполняется посредством добавления ограничивающего поток маленького отверстия 182 заранее определенного размера на верхнем конце трубы 145 передачи ионов, вводя тем самым поток продувки продукта и заканчивая внутреннюю трубу 154а подачи в ближайшей точке. Если используется такое устройство, то на верхнем конце внутренней трубы также должна быть отражательная перегородка 184 для отклонения химически активного газового потока 160 при его выходе из внутренней трубы 154а подачи. Мотивом для выбора этого варианта служит устранение открывания закрытого конца трубы переноса ионов в сторону сильно разрежающейся окружающей среды, которая имеется при химической активности продуваемого анода и водородного продукта высокой чистоты у катода и угрожает стойкости материала. В качестве альтернативы можно к химически активному газовому потоку добавлять небольшое количество подаваемого газового потока, чтобы сильно увеличить парциальное давление кислорода в продувочном газовом потоке в конце газового потока водородного продукта, в то же время все еще сохраняя его достаточно низким для поддержания достаточной движущей силы для переноса кислорода. Обычно парциальное давление кислорода в продувочном газе может

подниматься от 10^{-20} до 10^{-14} атмосферы.

Без этой модификации химически активный газовый поток 160 проходит по кольцеобразному каналу 162, образованному между внутренней поверхностью трубы 145 реактора-разделителя-охладителя и наружной поверхностью внутренней трубы 154 подачи, вниз по трубе 145 реактора-разделителя-охладителя и вступает в реакцию с кислородом, проникающим из подаваемого газового потока 5 через трубу 145 с целью обеспечения горячего газового потока 170 продуктов химической реакции во внутренней части трубы 145. Надлежащее дозирование прохождений газового потока гарантирует, что топливо в химически активном газовом потоке 160 будет частично выпускаться вниз по кольцеобразному каналу 162. Тепло, вырабатываемое реакцией химически активного газового потока 160 с проникающим кислородом, передается от трубы 145 реактора-разделителя-охладителя к трубе 149 кожуха посредством процессов конвекции и излучения. В то же самое время холодный подаваемый газовый поток 142, направляемый отражательными перегородками 168, проходит по секции 132 охлаждения устройства, охлаждает газовый поток во внутренней части трубы 145 реактора-разделителя-охладителя и получаемый газовый поток, теперь с повышенной температурой, проходит через проточные отверстия 157 в отражательной перегородке 158 с целью соединения подаваемого газового потока 135 для прохождения вверх по кольцеобразному каналу 164. Таким образом, горячий газовый поток 170 продуктов химической реакции проходит в секцию 131 разделения и продувает трубу 145 реактора-разделителя-охладителя для повышения химического раскачивающего потенциала через мембрану, так что кислород проникает через трубу 145 с целью обеспечения газового тока 180 обогащенного кислородом продукта, который охлажден благодаря прохождению холодного подаваемого газового потока 142, направляемого отражательными перегородками 133 и который содержит кислород, а также продукты реакции, создаваемые в секции 130 реактора устройства. Газовый поток 180 обогащенного кислородом продукта выходит из устройства через выход 181 для продукта. Если химически активный газовый поток 160 состоит из метана или другого углеводорода, то газовый поток 180 обогащенного кислородом продукта содержит, главным образом, кислород, двуокись углерода и воду. Как и в ранее описанных вариантах осуществления, холодный подаваемый газовый поток 142, который представляет собой вспомогательную часть первоначального подаваемого газового потока, поступает у основания секции 132 охладителя, проходит через проточные отверстия 157 и восстанавливающим образом нагревается посредством идущего навстречу потока, проникающего продукта и благодаря этому выполняет функцию охлаждения. Функция реактора, как показано на фиг.4 и раньше, состоит в нагревании подаваемого газового потока 135, который представляет собой основную часть первоначально

подаваемого газового потока, когда он проходит вниз в поперечном встречном направлении, благодаря реакции, происходящей у стенки трубы 145 реактора-разделителя-охладителя. Как и на фиг.1А и 3, все концы труб свободно плавают для устранения напряжения от тепловых и композиционных изменений размеров, а нижняя трубная решетка является холодной для облегчения соединений и уплотнений между трубой и трубной решеткой. Качество этого уплотнения до некоторой степени связано с требованиями к чистоте потока водорода. Как и во всех вариантах осуществления, межтрубная зона оборудована отражательными перегородками 168 для улучшения переноса тепла. В секции 130 реактора отражательные перегородки 168 имеют переменный интервал: больший там, где разность температур между газовым потоком внутритрубной зоны и трубами 149 кожуха высокая, и меньший там, где эта разность маленькая. Назначение этого переменного интервала отражательных перегородок 168 состоит в том, чтобы поддерживать постоянный тепловой поток в секции 130 реакции и минимизировать изменения температуры в элементах переноса ионов. Как упоминалось выше, трубы 149 кожуха обладают благоприятным излучательным способом переноса тепла в сочетании с поверхностью трубы реактора переноса ионов. Хотя и не показано, конструкция может также предусматривать изолирование трубы кожуха около входа подачи, где может быть очень высокая температура.

Показанный на фиг. 4 вариант осуществления изобретения, как и в случае всех обеспечиваемых вариантов осуществления, можно использовать для большого количества функций. Например, устройство можно использовать в качестве двухкаскадного устройства Деоксо (Деохо), с реакцией продувки в первом каскаде и давлением продувания во втором каскаде чистыми продуктами сгорания или в качестве разделителя для извлечения кислорода из подаваемого воздуха и производства двуокиси углерода из продуктов сгорания при обедненном цикле газовой турбины, или в качестве устройства для разделения воздуха на газовый поток водородного продукта и газовый поток кислородного продукта, который содержит некоторое количество двуокиси углерода и воды, подлежащие выводу ниже по потоку из устройства.

На фиг. 5 представлен схематически другой вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию реактора-охладителя с ионным проводником из твердого электролита. Как и на фиг.1А, подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и делится, по меньшей мере, на две части, подлежащие подаче в устройство реактора-охладителя. Во время работы, подаваемый газовый поток 205 вводится в активную секцию 201 реактора, а холодный подаваемый газовый поток 207 подается в секцию 202 охладителя продуктов химической реакции. Второй холодный подаваемый газовый поток 208 необязательно подается в секцию 200 охладителя водородного продукта. Труба 210 реактора-охладителя

переноса ионов пересекает все секции 200, 201 и 202 реактора-охладителя. Труба 210 реактора-охладителя переноса ионов прикреплена к трубной решетке 211 у верхнего конца устройства посредством скользящего уплотнения или неподвижного уплотнения с сильфоном и крепится к трубной решетке 212 и уплотняется у основания устройства. Как и раньше, поскольку трубная решетка 212 имеет температуру меньше 300 °C, можно использовать стандартный способ соединения с целью выполнения соединения трубы 210 реактора-охладителя с трубной решеткой 212. Точно так же, изоляция (не показанная) изолирует конструктивные сдерживающие давление стенки 206 устройства с целью допускания использования стандартных материалов конструирования. Как и на предыдущих чертежах, одну и ту же трубу 210 можно использовать в секции 201 реактора и секциях 200 и 202 охладителя и можно конструировать, как описано выше. Только центральная часть 210а трубы 210 реактора-охладителя должна иметь активную мембрану для переноса ионов. Как и раньше, можно использовать составную трубу, состоящую из пористой поддерживающей трубы и пленку смешанного проводника в секции 201 реактора и уплотняющую пленку в секциях 200 и 202 охладителя.

Подаваемый газовый поток 205 проходит мимо наружной поверхности трубы 215 кожуха, направляемый отражательными перегородками 214 и нагревается переносом тепла от труб 215 кожуха и проходит в концентрический кольцеобразный канал 216, образованный между наружной поверхностью трубы 210 реактора-охладителя и внутренней поверхностью трубы 215 кожуха. Труба 215 кожуха проходит немного за пределы секции 210 реактора в секцию 202 охладителя продуктов химической реакции устройства. Химически активный газовый поток 218, например метан, течет вниз по трубе 210 реактора-охладителя и, поскольку поверхность трубы переноса ионов реагирует на рабочую температуру трубы переноса ионов, он вступает в реакцию с кислородом, проникающим из подаваемого газового потока 205 через трубу 210 реактора-охладителя с целью обеспечения газового потока 221 продуктов химической реакции во внутренней части трубы 210. Если химически активный газовый поток 218 состоит из метана или другого углеводорода, газовый поток 221 продуктов химической реакции будет представлять собой, главным образом, двуокись углерода и воду, нормальные продукты сгорания и не вступившее в реакцию топливо, когда имелся избыток топлива или кислорода, если процесс проходил при бедной топливной смеси. Тепло, выделяемое при химической реакции химически активного газового потока 218 с проникающим кислородом, передается от трубы 210 реактора-охладителя трубе 215 кожуха посредством процессов конвекции и излучения. В то же самое время, холодный подаваемый газовый поток 207, направляемый отражательными перегородками 214, проходит в секции 202 охладителя продуктов химической реакции устройства, охлаждает газовый поток во внутренней части трубы 210

реактора-охладителя и получающийся газовый поток, теперь с повышенной температурой, проходит в концентрический кольцеобразный канал 216 вместе с подаваемым газовым потоком 205. Таким образом, газовый поток 221 продуктов химической реакции охлаждается проходящим холодным газовым потоком 207 и выходит из устройства через выход 222 для продукта. Можно также восстанавливать газовый поток 220 обедненного кислородом (водородного) продукта. Если это происходит, преимуществом является использование необязательного второго холодного подаваемого газового потока 208 для охлаждения газового потока в секции 200 охладителя водородного продукта способом, аналогичным секции 202 охладителя продуктов химической реакции.

На фиг. 6 представлен схематически еще один вариант осуществления изобретения, иллюстрирующий основную конструкцию другого реактора-охладителя с ионным проводником из твердого электролита. Как и на фиг. 1А, подаваемый газовый поток, содержащий элементарный кислород, сжимается и делится, по меньшей мере, на две части, подлежащих подаче в устройство реактора-охладителя. Во время работы, газовый поток 233 вводится в активную зону 231 реактора, а холодный газовый поток 234 подается в секцию 232 охладителя продуктов химической реакции. Второй холодный газовый поток 235 необязательно подается в секцию 230 охладителя водородного продукта. Труба 236 реактора-охладителя для переноса ионов проходит через секцию 231 реактора и секцию 232 охлаждения реактора-охладителя. В устройстве используются три концентрических трубы: труба 240 кожуха, подсоединенная к верхней трубной решетке 241 и открытая у основания секции 231 реактора, труба 236 реактора-охладителя переноса ионов, закрытая сверху и прикреплённая к средней трубной решетке 237 и внутренняя труба 238 подачи, открытая в верхней части и прикреплённая к нижней трубной решетке 239. Как и прежде, поскольку трубные решетки 237, 239 и 241 имеют температуру ниже 300°C, для выполнения необходимых соединений можно использовать стандартные способы соединения. Точно так же изоляция (не показанная) изолирует конструктивные сдерживающие давления стенки 242 устройства для обеспечения возможности использования стандартных материалов. Как и в случаях, изображенных на предыдущих чертежах, одну и ту же трубу 236 можно использовать в секции 231 реактора и секции 232 охлаждения продуктов реакции и ее можно конструировать, как описано выше. Активную мембрану для переноса ионов должна иметь только верхняя часть 236а трубы 236 реактора-охладителя.

Подаваемый газовый поток 233 проходит мимо наружной поверхности трубы 240 кожуха, направляемый отражательными перегородками 243 и нагревается путем переноса тепла от трубы 240 кожуха и поступает в концентрический кольцеобразный канал 244, образованный между наружной поверхностью трубы 236 реактора-охладителя и внутренней поверхностью трубы 240 кожуха. Труба 240

кожуха проходит несколько за пределы секции 231 реактора в секцию 232 охлаждения продуктов химической реакции. Химически активный газовый поток 245 например метан, необязательно разбавляемый водяным паром, проходит вверх по внутренней трубе 238 подачи, вниз по кольцеобразному каналу 246, образованному между внутренней поверхностью трубы 236 реактора-охладителя и наружной поверхностью трубы 240 кожуха и вступает в химическую реакцию с кислородом, проникающим из подаваемого газового потока 233 через трубу 236 реактора-охладителя с целью обеспечения газового потока 247 продуктов химической реакции во внутренней части трубы 236. Если химически активный газовый поток 245 состоит из метана или другого углеводорода, то газовый поток 247 продуктов химической реакции представляет, главным образом, двуокись углерода и воду, нормальные продукты сгорания и не вступившее в реакцию топливо, если был избыток топлива или кислород, когда процесс проходил при бедной топливной смеси. Тепло, выделяемое при химической реакции химически активного газового потока 245 с проникающим кислородом, передается от трубы 236 реактора-охладителя трубе 240 кожуха и внутренней трубе 238 посредством процессов конвекции и излучения. В то же время холодный газовый поток 234, направляемый отражательными перегородками 243, проходит в секции 232 охлаждения продуктов химической реакции, охлаждает газовый поток во внутренней части трубы 236 реактора-охладителя и получаемый газовый поток теперь с повышенной температурой проходит в концентрический кольцеобразный канал 244 вместе с подаваемым газовым потоком 233. Таким образом, газовый поток 247 продуктов химической реакции охлаждается течением холодного подаваемого газового потока 234 и выходит из устройства через выход 248 для продукта. Можно также восстанавливать газовый поток 249 обедненного кислородом (водородного) продукта при высоком давлении. Если это происходит, то преимущественно используют необязательный второй холодный подаваемый газовый поток 235 для охлаждения газового потока в секции 230 охлаждения водородного продукта способом, аналогичным секции 232 охлаждения продукта химической реакции.

Фиг.8 иллюстрирует простоту полного цикла разделения кислорода-водорода, используя соответствующий изобретению модуль 300 реактора-разделителя-охладителя. Подаваемый газовый поток 260, обычно воздух, сжимается компрессором 260 с целью получения сжатого газового потока 264. Сжатый газовый поток 264 разделяется на основной подаваемый газовый поток 268 и вспомогательный подаваемый газовый поток 266. Вспомогательный подаваемый газовый поток 266 охлаждается в охладителе 270 и затем проходит через клапан 272. Охлажденный газовый поток 274 вводится в секцию 271 охлаждения модуля 300 переноса ионов. Основной подаваемый газовый поток 268 проходит через клапан 301, становясь

основным газовым потоком 299, который вводится в секцию 273 реактора 300 переноса ионов. В одном варианте осуществления газовый поток 286 представляет собой химически активный газовый поток, а основной газовый поток 299 нагревается в секции 273 реактора модуля 300 переноса ионов до температуры примерно 900°C посредством реакции газового потока 286 и кислорода на одной стороне мембраны для переноса ионов секции 273 реактора модуля 300 переноса ионов. В другом варианте осуществления газовый поток 286 представляет собой химически пассивный разбавленный газовый поток, который используется для очистки анодной стороны мембраны для переноса ионов секции 273 реактора и секции 275 разделителя модуля 300 переноса ионов. Энергия нагрева подаваемого газового потока 274 обеспечивается встречным потоком анодного продукта.

В показанной на фиг.8 системе используется приводимый в действие реакцией каскад 273 деоксо и приводимый в действие давлением каскад 275 выделения кислорода, который усиливается продувкой продуктами сгорания, с использованием таких веществ, как вода (в виде пара) и двуокись углерода. Два газовых потока, выходящие из модуля 300 переноса ионов, представляют собой холодный газовый поток 284, низкого давления, двуокись углерода и воду и поток 276 водородных продуктов с высоким давлением и высокой температурой.

Газовый поток 284 низкого давления, содержащий кислород, двуокись углерода и водяной пар, охлаждается охладителем 302, образуя газовый поток 303. Основное количество воды, содержащейся в газовом потоке 303, конденсируется конденсатором 304 с целью получения водяного потока 305 и газового потока 306, который содержит, главным образом, кислород и двуокись углерода. Газовый поток 306 поступает к расположенной ниже по потоку мембране для разделения адсорбции или абсорбции. Водяной поток 305 можно выпускать в виде водяного потока 312, или он может стать водяным потоком 307, который нагнетается насосом 308 с целью получения водяного потока 309. Водяной поток 309 пропускается через теплообменник 307 для нагрева газовым потоком 282 с целью получения пара, то есть газового потока 310. Газовый поток 310 факультативно делится на газовый поток 311 и газовый поток 313. Как упоминалось выше, газовый поток 286, либо химически активный, либо химически пассивный, поступает в секцию 275 реактора модуля 300 переноса ионов.

Поток 276 водородного продукта факультативно делится на газовый поток 277, показанный пунктирной линией, и газовый поток 323. Газовый поток 277, если он создается, соединяется с необязательным газовым потоком 311, показанным пунктирной линией, отделяемым от потока 310, образуя газовый поток 279. Газовый поток 279 и химически активный газовый поток 320 подаются в камеру сгорания 321 для сжигания с целью создания газового потока 322. Газовый поток 322 соединяется с газовым потоком 323, образуя газовый поток 324. Газовый поток 324 в одном варианте

осуществления расширяется в газовой турбине 280, или тепловую энергию можно восстанавливать паровой системой с циклом Ранкина. Паровая система с циклом Ранкина усложняет устройство, но имеет преимущество подачи вырабатываемого водорода под давлением. В показанном варианте осуществления с использованием газовой турбины 280 имеется достаточно тепла в выходном газовом потоке 282 турбины для вырабатывания газового потока 310 в виде водяного пара посредством нагрева водяного потока 305 в теплообменнике 307 для дальнейшего увеличения кислородного потока в модуле 300 переноса ионов, как упоминалось выше. Газовый поток 282 проходит через теплообменник 307, создавая газовый поток 283. Газовый поток 283 проходит через охладитель 330, образуя газовый поток 329, который обычно выпускается.

Фиг. 9 иллюстрирует объединение разделителя-охладителя с переносом ионов в цикл газовой турбины в соответствии с настоящим изобретением. Подаваемый газовый поток 350, например воздух, после сжатия в компрессоре 352 для получения сжатого подаваемого газового потока 353 делится на основной подаваемый газовый поток 356 и вспомогательный подаваемый газовый поток 355. Вспомогательный подаваемый газовый поток 355 проходит через клапан 358 для создания газового потока 360, который поступает в секцию 361 охладителя модуля 400 разделителя-охладителя, а затем нагревается и выходит из модуля 400 разделителя-охладителя в виде газового потока 368.

Основной подаваемый газовый поток 356 факультативно делится на газовый поток 364 и газовый поток 404. Газовый поток 364 нагревается до рабочей температуры мембраны для переноса ионов (примерно до 900°C) в камере сгорания 362, после добавления топливного газового потока 364, для создания газового потока 366. Реактор переноса ионов или камеру сгорания 362 можно заменить воспламеняемым с внешней стороны нагревателем, не оказывая влияния на функциональные возможности системы. Газовый поток 404 проходит через необязательный теплообменник 407 для получения горячего газового потока 403, который соединяется с газовым потоком 366, образуя газовый поток 367. К газовому потоку 367 добавляется необязательный химически активный газовый поток 405 с целью образования газового потока 370. Газовый поток 368 добавляется к газовому потоку 370 для образования газового потока 372, который вводится в секцию 363 разделения модуля 400 разделителя-охладителя, где кислород 365 удаляется с использованием трубы 367 для переноса ионов.

После удаления через мембрану 367 для переноса ионов в секции 363 разделения модуля 400 разделителя-охладителя части кислорода 365, содержащегося в газовом потоке 372, из модуля 400 разделителя-охладителя выходит газовый поток 380 и после добавления топливного газового потока 384 нагревается в камере сгорания 382 до температуры входа в турбину. Получающийся газовый поток 386

расширяется в турбине 388 с целью образования выпускаемого потока 420 из турбины. Газовый поток 420 необязательно делится на газовый поток 402 и газовый поток 421. Газовый поток 402, если он образуется, пропускается через теплообменник 407 для получения газового потока 406. Газовый поток 406 добавляется к газовому потоку 421 с получением газового потока 426.

В показанном на чертеже случае отработанное топливо восстанавливается паровым циклом 410 Ранкина следующим образом. Газовый поток 401 кислородного продукта выходит из секции 361 охлаждения модуля 400 разделителя-охладителя с температурой примерно 150-300°C. Если уровни температуры позволяют, то некоторое количество тепла, содержащегося в газовом потоке 401 кислородного продукта и выходном потоке 426 турбины, восстанавливается паровым циклом 410 Ранкина. Вместо парового цикла 410 Ранкина для восстановления избытка тепла, содержащегося в выпускаемом потоке 426 турбины и газовом потоке 401 кислородного продукта, можно использовать рекуператор. Цикл 410 обработки потока Ранкина создает отработанный газовый поток 412, который обычно выпускается и кислородный газовый поток 411. Кислородный газовый поток 411 затем охлаждается охладителем 414, создавая кислородный газовый поток 415, который сжимается компрессором 416 для получения кислородного газового потока 417, восстанавливаемого в качестве продукта.

Как описано выше, для работы реактора и разделителя с целью обеспечения оптимальной эксплуатации вероятно будут выбираться различные материалы ионных проводников из твердого электролита. Выбираемые для эксплуатации реактора материалы должны иметь максимальную стойкость на низких парциальных давлениях кислорода, типа перечисленных в таблице, содержащих хром материалов, а материалы, выбираемые для осуществления отделения кислорода, должны иметь высокую ионную проводимость при высоких парциальных давлениях кислорода.

Конкретные особенности изобретения представлены на одном или более чертежах только для удобства, поскольку в соответствии с изобретением каждый его признак можно объединять с другими признаками. Кроме того, можно осуществлять различные изменения и модификации приведенных примеров, не выходя при этом за рамки изобретения. Специалисты в данной области техники могут обнаружить альтернативные варианты осуществления, и эти варианты подлежат включению в объем формулы изобретения.

Формула изобретения:

1. Способ разделения кислородного газового потока на обогащенный кислородом газовый поток и обедненный кислородом газовый поток посредством выделения кислорода из подаваемого газового потока, содержащего элементарный кислород, с последующим охлаждением получаемого кислородного газового потока или обогащенного кислородом газового потока в одном устройстве, имеющем секцию разделения, секцию охлаждения и выход для кислородного продукта, в котором секция

разделения включает в себя мембрану для переноса ионов, имеющую сторону подвода и сторону отвода, и в котором обедненный кислородом газовый поток выводят из устройства, причем способ содержит следующие операции: сжатие подаваемого газового потока, разделение сжатого подаваемого газового потока на основную часть газового потока и вспомогательную часть газового потока, нагрев основной части газового потока, введение нагретой основной части газового потока в секцию разделения устройства, введение вспомогательной части газового потока в секцию охлаждения устройства рядом с выходом для кислородного продукта, отвод кислорода из нагретой основной части газового потока через мембрану для переноса ионов в секции разделения с целью получения горячего обогащенного кислородом газового потока на стороне отвода мембраны и обедненного кислородом газового потока на стороне подвода мембраны, и передачу тепла от обогащенного кислородом газового потока вспомогательной части газового потока с целью получения кислородного газового потока или газового потока, обогащенного кислородом продукта и нагретой вспомогательной части газового потока, причем вспомогательную часть газового потока либо выводят из устройства, либо объединяют с нагретой основной частью газового потока перед вводом нагретой основной части газового потока в секцию разделения и в котором обедненный кислородом газовый поток выводят из устройства.

2. Способ по п. 1, в котором устройство дополнительно содержит секцию реактора, включающую в себя мембрану для переноса ионов, имеющую сторону подвода и сторону отвода, и в котором химически активный газовый поток вводят на стороне отвода мембраны для переноса ионов в секции реактора устройства для вступления в реакцию с обогащенным кислородным газовым потоком, проникающим через мембрану для переноса ионов рядом со стороной отвода мембраны для переноса ионов для получения газового потока продуктов реакции, который используется для продувки стороны отвода мембраны для переноса ионов в секции разделения устройства, и в котором газовый поток продуктов реакции и обедненный кислородный газовый поток и не вступивший в реакцию кислород из обогащенного кислородного газового потока объединяют в виде обогащенного кислородом газового потока, который выходит из устройства и в котором обедненный кислородом газовый поток отдельно выводят из устройства.

3. Способ по п. 2, в котором мембрана для переноса ионов секции разделения устройства и мембрана для переноса ионов секции реактора устройства образованы совместно.

4. Способ по п. 3, в котором мембрана для переноса ионов секции разделения устройства включает в себя пористую поддерживающую подложку и содержит материал для переноса ионов, имеющий высокую проводимость кислорода при высоком парциальном давлении кислорода, а мембрана для переноса ионов секции

реактора устройства содержит слой смешанного проводника, имеющего оптимальную стойкость при низком парциальном давлении кислорода.

5. Способ по п. 3, в котором мембрана для переноса ионов секции реактора и мембрана для переноса ионов секции разделения образованы совместно с трубопроводом для переноса обогащенного кислородом газового потока через секцию охладителя устройства.

6. Способ по п. 5, в котором трубопровод для переноса обогащенного кислородом газового потока через секцию охлаждения представляет собой металлическую трубу и соединяется с мембраной для переноса ионов секции реактора устройства посредством сварки или пайки твердым припоем.

7. Способ по п. 5, в котором трубопровод для переноса обогащенного кислородом газового потока через секцию охлаждения содержит плотный уплотняющий материал и соединяется с мембраной для переноса ионов секции реактора устройства посредством сварки или пайки твердым припоем.

8. Способ по п. 2, в котором химически активный газ нагревают перед его вводом в секцию реактора устройства.

9. Способ по п. 1, в котором секция разделения включает в себя секцию реактора, а операция отвода кислорода через мембрану включает в себя введение химически активного газового потока на стороне отвода мембраны для переноса ионов для вступления в реакцию, по меньшей мере, с частью переносимого кислорода.

10. Способ разделения кислородного газового потока на обогащенный кислородом газовый поток и обедненный кислородом газовый поток посредством выделения кислорода из подаваемого газового потока,

содержащего элементарный кислород в устройстве, имеющем секцию реактора и секцию разделения, в котором каждая из секций включает в себя, по меньшей мере, одну мембрану для переноса ионов, имеющую сторону подвода и сторону отвода, в котором химически активный газовый поток вводят на стороне отвода мембраны для переноса ионов в секции реактора для вступления в реакцию с кислородом, пропускаемым через мембрану для переноса ионов, рядом со стороной отвода мембраны для получения газового потока продуктов реакции, используемого для продувки стороны отвода мембраны для переноса ионов в секции разделения, и в котором газовый поток продуктов реакции и не вступивший в реакцию кислород объединяются в виде обогащенного кислородом газового потока, выпускаемого из устройства, и в котором обедненный кислородом газовый поток отдельно выводят из устройства, причем способ содержит следующие операции: сжатие подаваемого газового потока, введение сжатого подаваемого газового потока в устройство и передачу тепла от газового потока продуктов реакции подаваемому газовому потоку, отвод кислорода из нагретого подаваемого газового потока посредством пропускания через мембрану для переноса ионов в секции реактора с целью получения газового потока продуктов реакции на стороне отвода мембраны и обедненного кислородом газового потока на стороне подвода мембраны, и удаление дополнительного кислорода из обедненного кислородом газового потока с помощью мембраны для переноса ионов в секции разделения с целью получения обедненного кислородом газового потока на стороне подвода мембраны.

40

45

50

55

60

RU 2182036 C2

Состав материала	
1.	$(La_{1-x}Sr_x)(Co_{1-y}Fe_y)O_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, \delta$ из стехиометрии)
2.	$SrMnO_{3-\delta}$ $SrMn_{1-x}Co_xO_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, \delta$ из стехиометрии) $Sr_{1-x}Na_xMnO_{3-\delta}$
3.	$BaFe_{0,5}Co_{0,5}YO_3$ $SrCeO_3$ $YBa_2Cu_3O_{7-\beta}$ ($0 \leq \beta \leq 1, \beta$ из стехиометрии)
4.	$La_{0,2}Ba_{0,8}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{2,6}; Pr_{0,2}Ba_{0,8}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{2,6}$
5.	$A_xA'_xA''_xB_yB'_yB''_zO_{3-x}$ (x, x', x'', y, y', y'' все в диапазоне 0-1) где A, A', A'' = из групп 1, 2, 3 и лантаниды f-блока B, B', B'' = из переходных металлов d-блока
6.	(а) Co-La-Bi тип: Окись кобальта 15-75 мол. %

RU 2182036 C2

	Окись лантана	13-45 мол. %
	Окись висмута	17-50 мол. %
(b) Co-Sr-Ce тип:	Окись кобальта	15-40 мол. %
	Окись стронция	40-55 мол. %
	Окись церия	15-40 мол. %
(c) Co-Sr-Bi тип:	Окись кобальта	10-40 мол. %
	Окись стронция	5-50 мол. %
	Окись висмута	35-70 мол. %
(d) Co-La-Ce тип:	Окись кобальта	10-40 мол. %
	Окись лантана	10-40 мол. %
	Окись церия	30-70 мол. %
(e) Co-La-Sr-Bi тип:	Окись кобальта	15-70 мол. %
	Окись лантана	1-40 мол. %
	Окись стронция	1-40 мол. %
	Окись висмута	25-50 мол. %
(f) Co-La-Sr-Ce тип:	Окись кобальта	10-40 мол. %
	Окись лантана	1-35 мол. %
	Окись стронция	1-35 мол. %
	Окись церия	30-70 мол. %

7. $Bi_{2-x-y}M'_xM_yO_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, \delta$ из стехиометрии)

где

$M' = \text{Er, Y, Tm, Yb, Tb, Lu, Nd, Sm, Dy, Sr, Hf, Th, Ta, Nb, Pb, Sn, In, Ca, Sr, La}$ и их смеси

$M = \text{Mn, Fe, Co, Ni, Cu}$ и их смеси

8. $BaCe_{1-x}Gd_xO_{3-x/2}$, где x равен от нуля до примерно 1

9. Один из материалов семейства $A_xA'_yB_zB'_wB''_xO_x$, состав которого раскрыт в патенте США 5 306 411, состоит из следующих элементов:

A представляет лантанид или Y или их смесь,

A' представляет щелочно-земельный металл или его смесь,

B представляет Fe, B' представляет Cr или Ti или их смесь,

B'' представляет Mn, Co, V, Ni или Cu или их смесь,

a, s, t, u, v, w и x являются такими числами, что

s/t равняется от примерно 0,01 до примерно 100,

u равняется от примерно 0,01 до примерно 1,

v равняется от нуля до примерно 1,

w равняется от нуля до примерно 1,

x равняется числу, которое соответствует валентностям A, A', B, B', B'' в

химической формуле, и $0,9 < (s+t)/(u+v+w) < 1,1$

10. Один из материалов семейства $La_{1-x}Sr_xCu_{1-y}M_yO_{3-\delta}$, где

M представляет Fe или Co,

x равняется от нуля до примерно 1, y равняется от нуля до примерно 1,

δ равняется числу, которое соответствует валентностям La, Sr, Cu и M в химической формуле.

11. Один из материалов семейства $Ce_{1-x}A_xO_{2-\delta}$, где

A представляет лантанид, Ru или Y или их смесь,

x равняется от нуля до примерно 1,

y равняется от нуля до примерно 1

o равняется числу, которое соответствует валентностям Ce и A

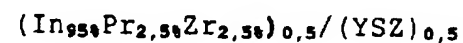
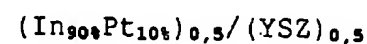
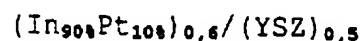
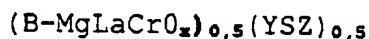
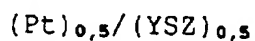
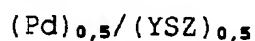
RU 2 1 8 2 0 3 6 C 2

RU 2 1 8 2 0 3 6 C 2

12. Один из материалов семейства $Sr_{1-x}Bi_xFeO_{3-\delta}$, где:
- A представляет лантанид или Y, или их смесь;
- x разняется от нуля до примерно 1;
- y равняется от нуля до примерно 1;
- δ равняется числу, которое соответствует валентностям Ce и A в химической формуле.
-

13. Один из материалов семейства $Sr_xFe_yCo_zO_w$, где:
- x равняется от нуля до примерно 1;
- y равняется от нуля до примерно 1;
- z равняется от нуля до примерно 1;
- w равняется числу, которое соответствует валентностям Sr, Fe и Co в химической формуле.
-

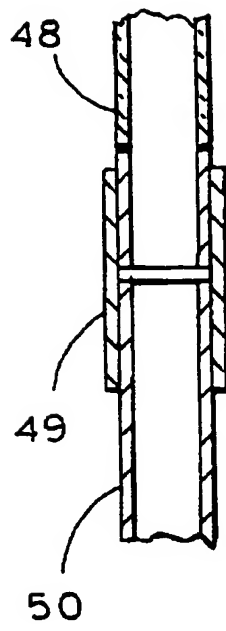
14. Двухфазные смешанные проводники (электронные-ионные):



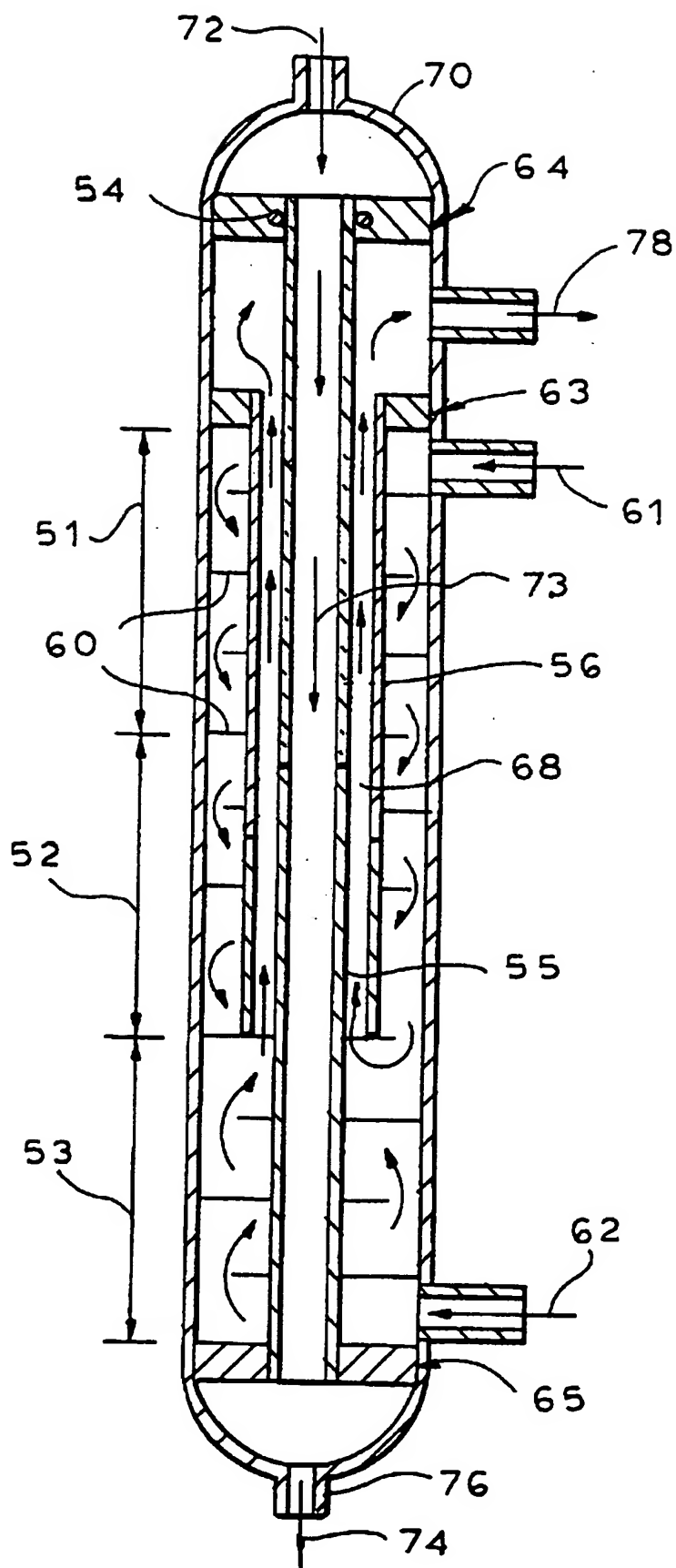
Любой из материалов, описанных в пунктах 1-13, к которому добавлена высокотемпературная металлическая фаза (например, Pd, Pt, Ag, Au, Ti, Ta, W).

RU 2182036 C2

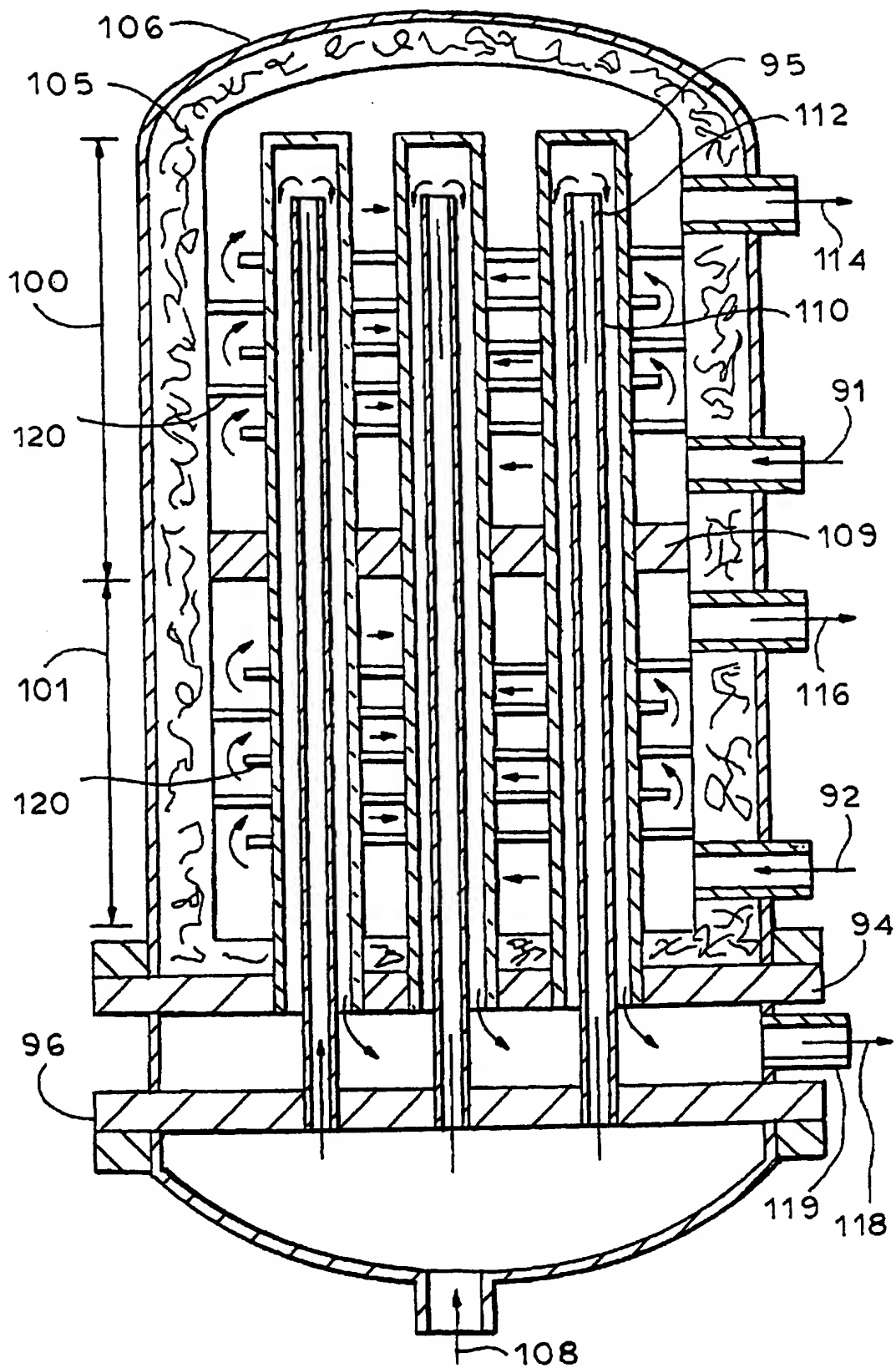
RU 2182036 C2



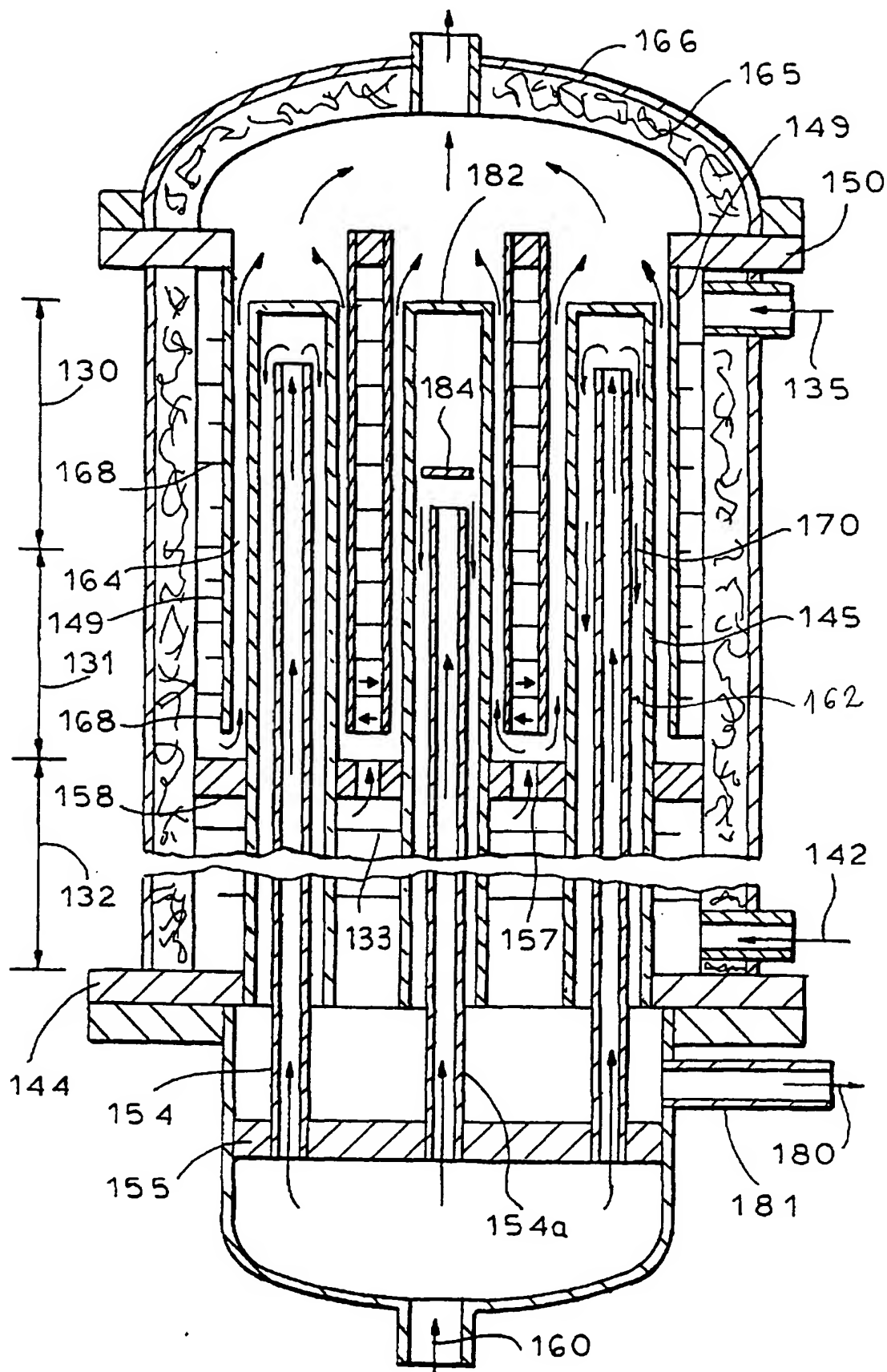
Фиг.1В



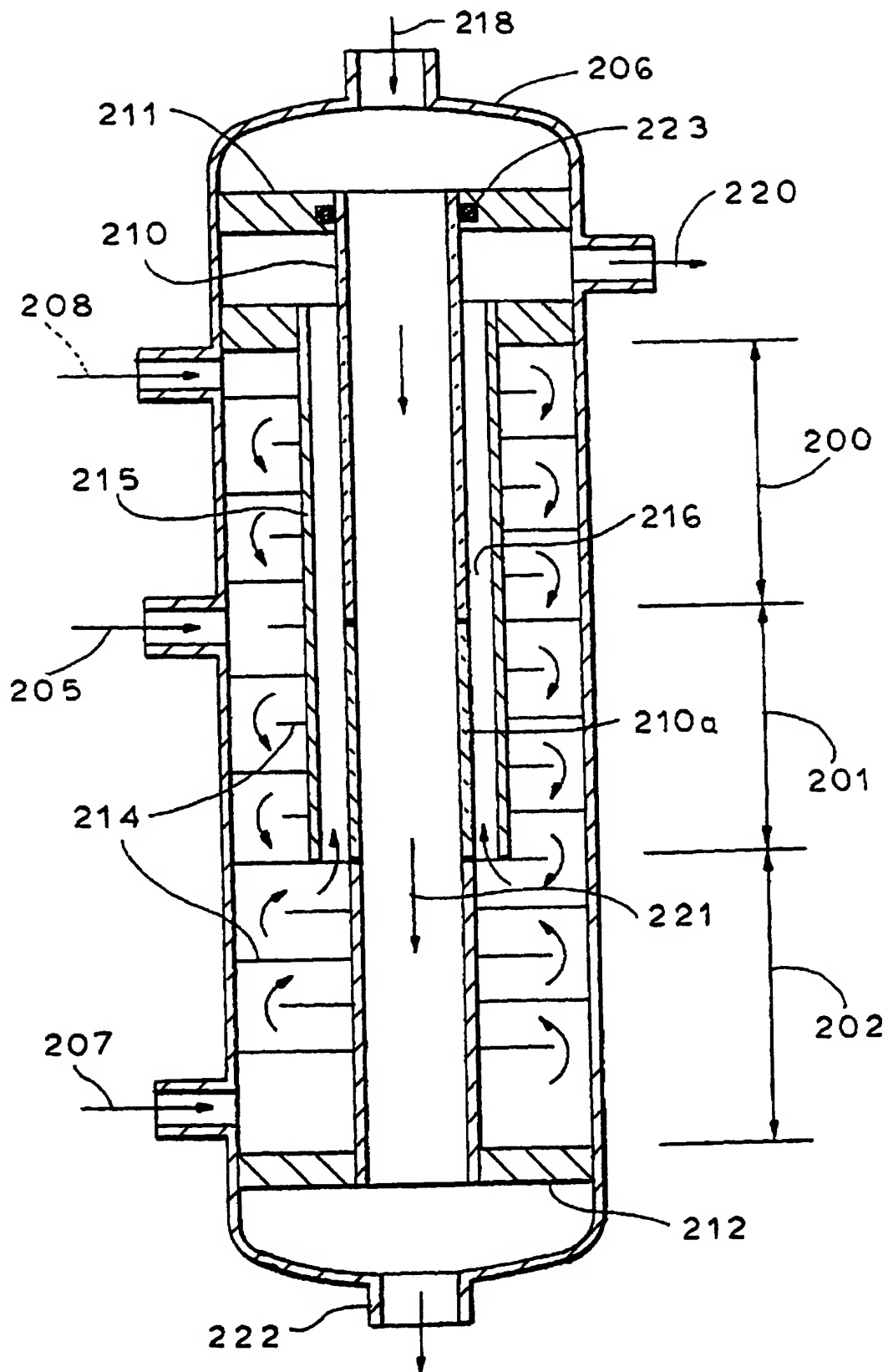
Фиг.2



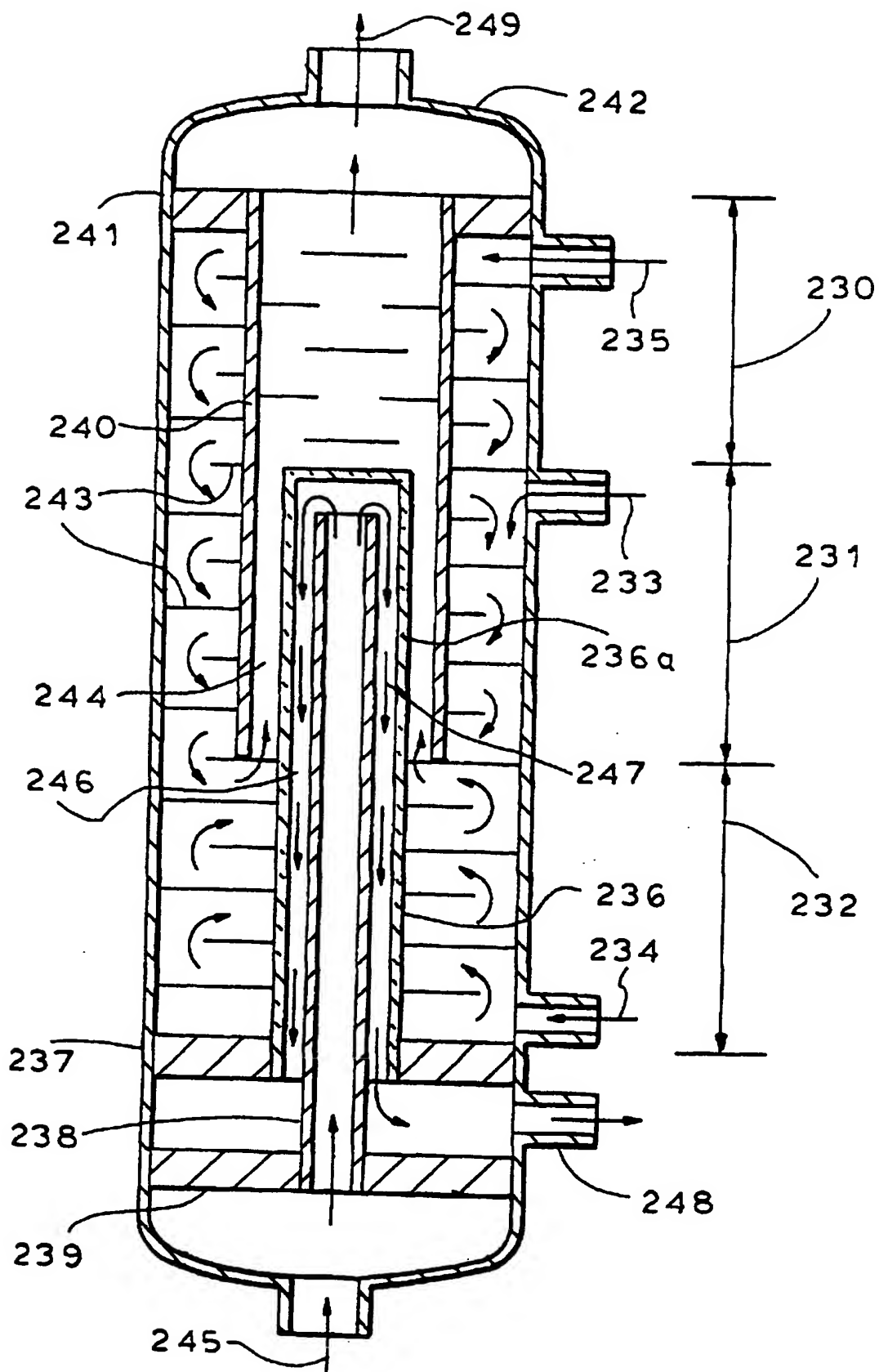
Фиг.3



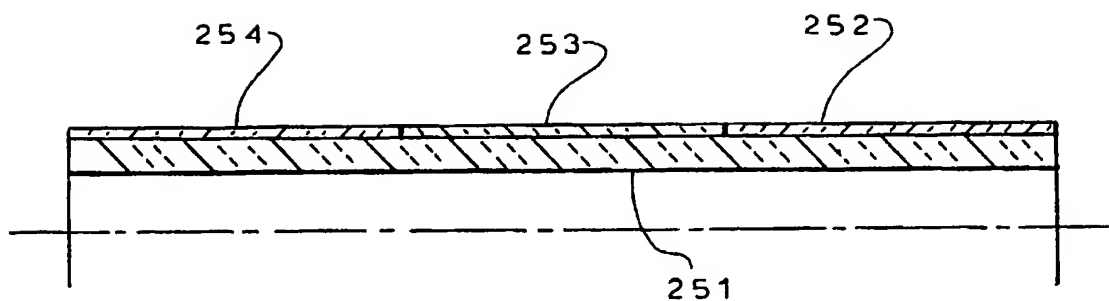
Фиг. 4



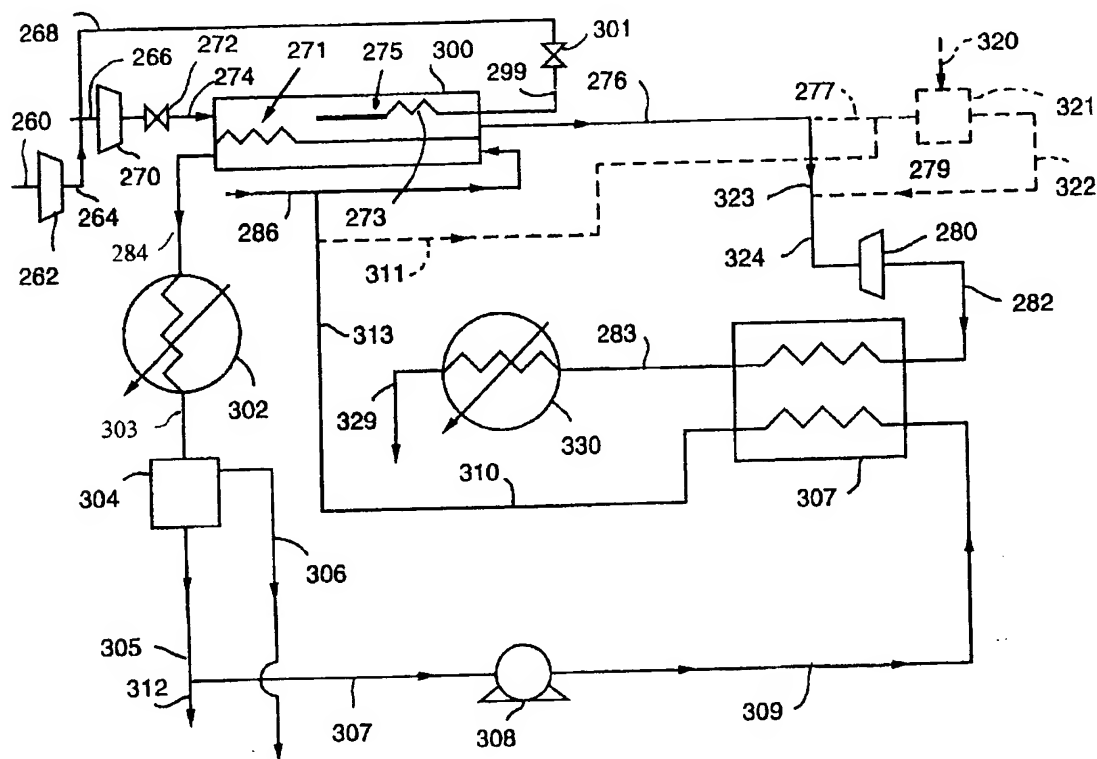
Фиг.5



Фиг.6



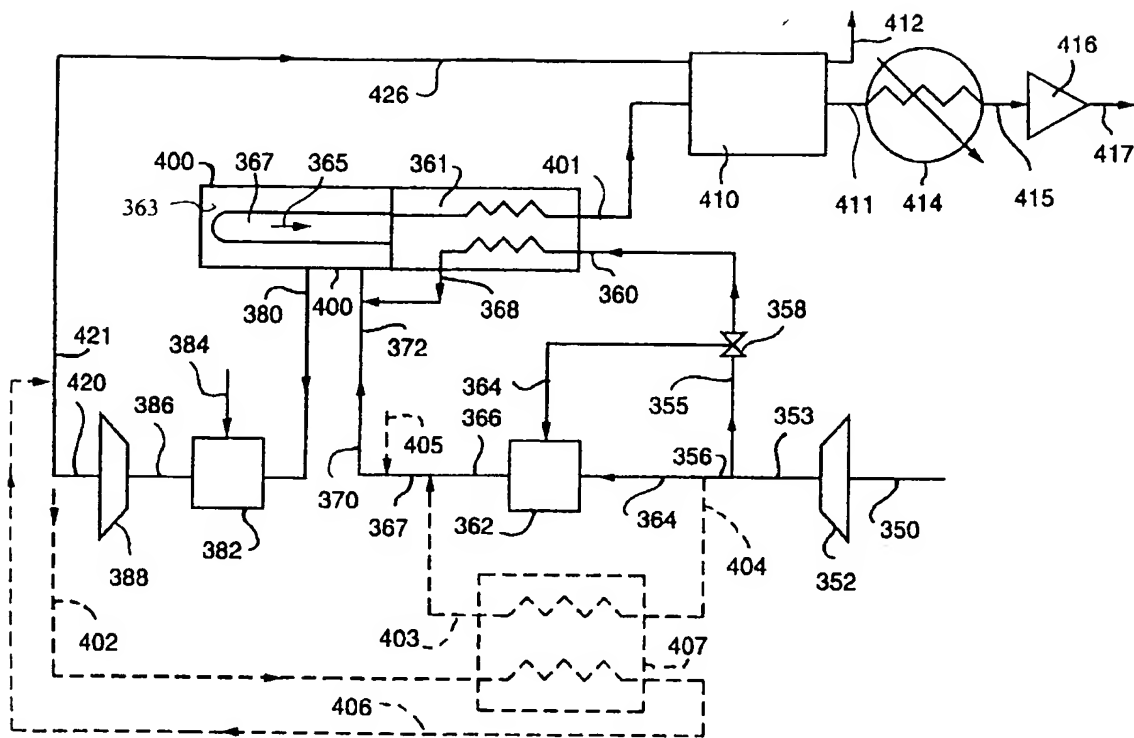
Фиг.7



Фиг.8

RU 2182036 C2

RU 2182036 C2



Фиг.9

THIS PAGE BLANK (USPTO)